

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальних технологій
Богак Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.2.

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: _____ Контроль якості циліндрів гідроприводів
(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка
(назва освітньої програми)

175 Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

_____ Богак В.С.
(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

метрології та інформаційно-вимірюваних 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

_ Богак Владислав Сергійович

(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема роботи

Контроль якості циліндрів гідروприводів_

Керівник роботи

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

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: діапазон внутрішніх діаметрів циліндрів від 20 мм до 60 мм; умови цехові

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 р. _

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

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 70с., рис., 1 додаток, 20 джерел,

Об'єкт дослідження – циліндри гідроприводів.

Мета роботи – розробити установку для автоматизації проведення контролю металевих циліндрів гідроприводів в.

Метод дослідження – теоретичний.

Проведений аналіз можливих методів контролю, вибраний метод і обґрунтовано доцільність використання радіаційного методу; вибрана і розрахована схема просвічування; розроблена структурна схема установки; проаналізована електрична принципова схема і принцип її роботи; здійснено розрахунок стабілізатора напруги; розроблено конструкцію механічної частини установки. Визначено чутливість провешення контролю.

Ключові слова: РЕДУКТОР, ФОРМУВАЧ ІМПУЛЬСІВ, СХЕМА СПІВПАДІННЯ, ЗАХИСНИЙ ЕКРАН, ПРОНИКАЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, КОНТРАСНІСТЬ.

THE ABSTRACT

Master's thesis: 70 p., fig., 1 appendix, 20 sources,

Object of research – hydraulic cylinders.

The purpose of the work is to develop a device for automating the inspection of metal cylinders of hydraulic drives in.

The research method is theoretical.

The analysis of possible inspection methods is carried out, the method is selected and the feasibility of using the radiation method is justified; the illumination scheme is selected and calculated; the structural diagram of the installation is developed; the electrical schematic diagram and the principle of its operation are analyzed; the voltage stabilizer is calculated; the design of the mechanical part of the installation is developed. The sensitivity of the inspection is determined.

Keywords: REDUCER, PULSE SHAPER, COINCIDENT SCHEME, PROTECTIVE SCREEN, PENETRATING RADIATION, CONTRAST.

REDUCER, SHAPER of PULSES, CIRCUIT of COMPARISON, FILTER, PENETRATING RADIATION, CONTRAST.

ЗМІСТ

Вступ.....	
Огляд методів контролю якості циліндрів гідроприводів	
1.1 Капілярний метод контролю.....	
1.2 Вихрострумний метод контролю.....	
1.3 Акустичний метод контролю.....	
1.4 Радіаційний метод контролю.....	
1.5 Аналіз методів і постановка задачі на виконання магістерської роботи.....	
2. Розробка системи для контролю якості циліндрів гідроприводів	
2.1 Теоретичне обґрунтування вибраного методу контролю якості циліндрів пневмоприводів	
2.2 Розробка структурної схеми системи	
2.3 Розрахунок режиму просвічування.....	
2.4 Розробка конструкції системи	
2.4.1 Розробка блоку формувача імпульсів.....	
2.5 Розробка електричної принципової схеми.....	
2.6 Розробка методики проведення контролю.....	
3. Метрологічний аналіз проведення контролю.....	
3.1 Роль метрологічного забезпечення засобів неруйнівного контролю в підвищенні якості продукції.....	
3.2 Методи перевірки.....	
3.3 Розрахунок чутливості проведення контролю.....	
Висновки.....	
Перелік посилань на джерела.....	
Додатки	
Бібліографічна довідка.....	

ВСТУП

В останні роки прилади та системи неруйнівного контролю набирають все більшого розмаху і ставлять перед собою чим далі, тим складніші завдання. Якість, яка стала критерієм і основою сучасного виробництва, змушує виробників оснащувати свої підприємства найновітнішими засобами науки і техніки. Це дає змогу випускати на ринок продукцією тільки високого ґатунку, надійну і безпечну для життя людини. Також якість, в свою чергу, піднімає і імідж підприємства, цим заохочуючи споживачів вдаватись до його послуг.

Проте навіть добре налагоджений виробничий процес не є гарантом якості. Сховані від людського ока, вироби можуть містити дефекти різноманітного характеру, наприклад поверхневі і підповерхневі тріщини, раковини, розшарування, включення інших матеріалів, окалини, непроварення і таке інше. Тому підвищення якості продукції на сучасному етапі полягає не тільки у вдосконаленні технологічних процесів виробництва продукції, але і залежить також від методів контролю якості. Під контролем розуміють процес співставлення вихідних (проміжних) характеристик об'єкта контролю з допустимими значеннями, встановленими в стандартах, технічних умовах і т.д., і виявлення дефектних або потенційно ненадійних виробів. У окремих випадках методи неруйнівного контролю забезпечують прогнозування поведінки виробів у часі при наявності дестабілізуючих факторів. Результати контролю не тільки фіксують наявність дефектів в продукції, але і розкривають причинно-наслідкові зв'язки, необхідні для розуміння суті фізичних явищ, які приводять до утворення дефектів, з тим, щоб своєчасно і активно впливати на хід технологічного процесу по ланцюгу зворотного зв'язку.

В даній магістерській роботі наше завдання полягає в розробці установки для контролю якості металевих циліндрів гідроприводів.

Надійність і довговічність циліндрів гідроприводів забезпечується як конструкцією, так і достатньою кількістю високоефективного металорізального

устаткування вітчизняного і зарубіжного виробництва, що забезпечують виробництво деталей будь-якої складності і точності.

Проте ніколи не нехтується можливістю покращувати якість і надійність як гідроприводів в цілому, так і окремих його вузлів. Зокрема, як уже було згадано вище, існує потреба посилити контроль якості металевих циліндрів гідроприводів. Циліндри виготовляються методом лиття або з прокату і повинні витримувати тиски від одного до кількох МПа. Відповідно руйнування даного вузла може призвести до пошкодження гідросистем, вартість яких оцінюється в кілька тисяч гривень, що є недопустимим.

Тому важливим є розроблення установки (з метою підвищення продуктивності, бажано автоматизованої), яка б змогла контролювати якість металевих циліндрів гідроприводів, при цьому забезпечуючи виявлюваність дефектів згідно ГОСТ 1050-85.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення точності виявлення дефектів циліндрів гідроприводів шляхом створення нових методик знаходження на основі застосування розроблених нових технічних засобів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є система автоматизованого радіаційного контролю циліндрів гідроприводів.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є спосіб проведення радіаційного неруйнівного контролю

Наукова новизна. Розроблена циліндрів пневмоприводів вдосконалена методика дозволяє оптимізувати процес радіаційного неруйнівного контролю циліндрів гідроприводів завдяки автоматизованому процесу проведення контролю та автоматизованому визначенню експозиції, що приведе до підвищення продуктивності та чутливості контролю.

Дана магістерська робота може служити підґрунтям для вирішення певних проблем проведення радіаційного неруйнівного циліндрів гідроприводів та аналогічних об'єктів циліндрів гідроприводів.

Вирішення поставленого завдання розпочнемо з огляду і аналізу існуючих методів контролю з тим, щоб обрати найбільш оптимальний і економічно доцільний метод, і який би в свою чергу, забезпечував необхідну точність. Наступним кроком, після теоретичного обґрунтування обраного методу, є розробка функціональної схеми установки, принципової електричної схеми, розробка конструкції установки і відповідно методики проведення контролю якості. Також, важливим аспектом поставленого завдання є проведення метрологічного аналізу,

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРІВ ЦИЛІНДРІВ ПНЕВМОПРИВОДІВ

Кожний окремо взятий метод неруйнівного контролю вирішує обмежене коло задач технічного контролю. Немає і не може бути методу, який би міг виявляти найрізноманітніші за характером дефекти. Тому вибір методу НК і розробку методики контролю потрібно починати з ретельного аналізу можливих видів дефектів виробу, характеру їх появи і розвитку, встановлення кореляційного зв'язку з показниками якості і надійності. Оптимальний вибір методу НК неможливий без знань реальних особливостей методів НК, їх фізичних основ, ступеня розробки, області застосування, чутливості, роздільної здатності, технічних умов розбракування, технічних характеристик апаратури.

Однією з найбільш поширених областей застосування методів НК є дефектоскопія - виявлення дефектів типу порушення суцільності, виникаючих як в процесі виробництва, так і в умовах експлуатації виробів. При виготовленні виробів методом лиття (в даному дипломному проектуванні в якості об'єкта контролю являється циліндр пневмоприводів виготовлений саме таким способом) можуть виникнути тріщини, раковини, пористість, неметалічні включення і інші дефекти. У процесі гарячої і холодної деформації виникають закати, волосовини, розшарування і т.п. Термічна і хіміко-термічна обробка може привести до утворення грубозернистої структури, перепалів, тріщин, невідповідності товщини. Шліфувальні тріщини і припали - дефекти механічної обробки. До характерних дефектів зварних з'єднань відносяться непроварення, тріщини, різного роду включення і інші. При експлуатації можуть з'являтися тріщини втоми і повзучості, різного виду корозійні пошкодження деталей машин і приладів.

В даному розділі ми здійснимо огляд кількох найбільш використовуваних методів дефектоскопії, які б можна було застосувати при контролі металевих циліндрів пневмоприводів.

1.1 Капілярний метод контролю

Капілярний метод неруйнівного контролю широко використовується на практиці оскільки дає змогу знаходити невидимі або малопомітні неозброєним оком поверхневі дефекти, їх орієнтацію, протяжність і розміщення. Даний вид контролю дає змогу діагностувати об'єкти будь-яких розмірів і форм, виготовлених з чорних або ж кольорових металів, їх сплавів, кераміки, пластмас і інших ферромагнітних матеріалів.

Метод оснований на капілярному проникненні індикаторних речовин (пенетрантів) в поверхневі і наскрізні несуцільності матеріалу об'єкта контролю і реєстрації індикаторних слідів візуальним способом або ж за допомогою перетворювачів.

Капілярний контроль використовують також для об'єктів, виготовлених з ферромагнітних матеріалів, якщо їх магнітні властивості, форма, вид і місцезнаходження дефектів не дозволяють досягти необхідної чутливості магнітопорошковим методом або, коли останній не допускається використовуватись по вимогам до експлуатації об'єкта [1].

В випадку, коли капіляр виходить на поверхню об'єкта контролю з однієї сторони це свідчить про поверхневу несуцільність. Якщо він з'єднує протилежні стінки об'єкта, то несуцільність є наскрізною.

В свою чергу метод підрозділяється на основні і комбіновані. Основні класифікуються в залежності від типу проникаючої речовини, наприклад: метод фільтруючих суспензій (рідинний метод побудований на використанні індикаторних суспензій, які формують індикаторний слід з відфільтрованих частинок дисперсної фази); люмінесцентний (побудований на реєстрації контрасту люмінесцентного свічення в ультрафіолетовому випромінюванні видимого індикаторного сліду на фоні поверхні об'єкта контролю); яскравісний (оснований на реєстрації контрасту в видимому випромінюванні ахроматичного рисунка на фоні поверхні об'єкта контролю). Комбіновані

методи капілярного неруйнівного контролю поєднують два або більше різних по фізичній суті методи, один з яких обов'язково рідинний.

При застосуванні методу важливу роль відіграє правильний підбір дефектоскопічних матеріалів (до них належать пенетранти, проявники і очищувачі), які використовуються для просочування, нейтралізації чи видалення надлишку проникаючої речовини з поверхні і проявлення її рештків з ціллю отримання первинної інформації про наявність несутцільності в об'єкті контролю. Такий підбір здійснюється в залежності від вимог, представлених до об'єкта, його стану і умов контролю. Для цього матеріали групуються в відповідні набори, кожен з яких характеризується тою чи іншою чутливістю. Так, наприклад, високочутливі набори мають здатність виявляти дефекти типу тріщин і пор величиною в десяті долі мікрона. Набори середньої чутливості дозволяють знаходити дефекти з розкриттям біля 1 мкм. Грубі дефекти (з розкриттям більше 100 мкм) виявляються наборами пониженої чутливості. При цьому слід підбирати набори так, щоб жоден з його компонентів не викликав корозійну дію на об'єкт [2].

Значним недоліком капілярного методу контролю є трудомісткість виконуваних робіт, що в свою чергу веде до пониження продуктивності. Приміром, якщо розбити процес контролю на окремі частини, то в результаті він складатиметься з таких етапів:

- підготовка об'єкта до контролю;
- обробка об'єкта дефектоскопічними матеріалами;
- проявлення дефектів;
- знаходження дефектів і розшифровування результатів контролю;
- остаточна очистка об'єкта.

Підготовка об'єкта до контролю включає очистку поверхні від різноманітних забруднень, видалення лакофарбових покриттів, дефектоскопічних матеріалів, що залишилися від попереднього контролю, а також просушування об'єкта контролю.

Для попередньої очистки поверхні застосовують механічну очистку об'єкта потоком піску або іншими абразивними матеріалами, в тому числі шліфування і полірування.

Необхідні способи очистки, їх поєднання і вимоги до чистоти контрольованої поверхні визначаються в технічній документації на контроль. Зокрема при високому класі чутливості контролю перевага надається не механічним, а хімічним і електрохімічним способам очистки, в тому числі з дією на об'єкт контролю ультразвуку або електричного струму. Ефективність цих способів обумовлена оптимальним вибором очищувального складу, режимом очистки і послідовністю використовуваних способів.

Щодо обробки об'єкта дефектоскопічними матеріалами, то здійснюватись вона може різними способами, що знову ж залежить від особливостей контролюючого зразка. Це може бути самовільне заповнення порожнин пенетрантом шляхом простого змочування поверхні, ультразвукове заповнення, вакуумне заповнення і інші види. Та завжди повинен підтримуватись температурний режим, в межах якого той чи інший пенетрант досягає максимальної ефективності.

Знаходження дефектів і розшифрування результатів контролю може здійснювати контролер-оператор візуальним способом. Але тут можна назвати три основні недоліки такого контролю: відсутність кількісної оцінки спостережуваної картини; значний розкид отриманих даних в часі; неповний опис картини спостережуваного зображення поверхні об'єкта, оскільки повний опис недопустимо б збільшив тривалість видачі даних [4].

Якщо ж використовувати складні технічні засоби, то вони значно підвищуватимуть вартість проведення контролю. Зокрема до них відносять фотоелектричне виявлення і перетворення за допомогою різних засобів індикації і реєстрації сигналу видимого індикаторного сліду несучільності; телевізійне виявлення, перетворення в аналогову чи дискретну форму з відповідним представленням на екран, дисплей, магнітну стрічку сигналу від

видимого індикаторного сліду несучільності, виявленої люмінесцентним, кольоровим, люмінесцентно-кольоровим і яскравісним методами.

Таким чином, як видно з вищеприписаного, метод потребує виконання чималої кількості операцій, що призводить до значного зменшення продуктивності. Також даний метод не дозволяє знаходити дефекти, границі якого не контактують з поверхнею, а обмежується виявленням поверхневих і наскрізних несучільностей типу тріщин чи інших відхилень від норми. Тому, здійснювати контроль циліндрів в пневмоприводів, товщина стінки яких досягає більше 10 мм не завжди доцільно у зв'язку з можливістю отримання далеко не повної картини стану об'єкта.

1.2 Вихрострумний метод контролю

Метод вихрових струмів є одним із провідних методів застосовуваних як в вітчизняній так і зарубіжній практиці. Його використання різноманітне починаючи від дефектоскопії, товщинометрії і закінчуючи структуроскопією.

Вихрострумний метод дозволяє успішно вирішувати задачі контролю розмірів виробів. Цими методами вимірюють діаметр проводів, прутів і труб, товщину металічних листів і стінок труб при односторонньому доступі до об'єкту, товщину електропровідних і діелектричних покриттів на електропровідних основах, товщину шару багат шарових структур, що містять електропровідні частини. Вимірювання товщини може змінюватись в межах від мікрометрів до десятків міліметрів. Для більшості приладів похибка вимірювання 2-5%. Мінімальна площа зони контролю може бути доведена до 1 мм², що дозволяє вимірювати товщину покриттів на малих об'єктах складної конфігурації. За допомогою даного методу вимірюють зазори, переміщення, і вібрації в машинах і механізмах [1].

Структурний стан металів і сплавів впливає на їх електричні і магнітні характеристики. Завдяки цьому стає можливим контролювати не тільки однорідність хімічного складу, але і структуру металів і сплавів, а також визначити механічні напруження. За допомогою вихрострумних приладів

контролюють якість термічної і хіміко-термічної обробки деталей, стан верхніх шарів після механічної обробки, знаходять механічні напруження, тріщини втоми в металах на ранніх стадіях їх виникнення і т.д.

Щодо методу, то базується він на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збуджуючою котушкою в електропровідному об'єкті контролю. Від геометричних і електромагнітних параметрів досліджуваного зразка (питома електрична провідність σ , магнітна проникність μ), а також від взаємного розміщення вихрострумів перетворювача (далі ВСП) і об'єкта залежить щільність вихрових струмів, які наводяться в контрольованому зразку. В якості перетворювача використовують, як правило, котушки індуктивності.

Синусоїдальний струм, що діє в котушках ВСП, створює електромагнітне поле, яке в свою чергу збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів діє на котушку перетворювача, наводячи в них електрорушійну силу або змінює їх повний електричний опір. Реєструючи напругу (при умові, коли перетворювач має дві обмотки) на затискачах котушки або їх опір (при умові, коли перетворювач має одну обмотку), отримуємо інформацію про властивості об'єкта і положення перетворювача відносно нього [2].

ЕРС перетворювача залежить від багатьох параметрів об'єкта контролю, тобто інформація, надана перетворювачем, багатогранна. Це дає певні переваги з одного боку (дозволяє здійснювати багатопараметровий контроль), та з іншого створює певні проблеми в використанні вихрострумів методів (виникає необхідність використовувати прийоми для поділу інформації). При контролі одного з параметрів на сигнал перетворювача інші впливають як завади, тому цей вплив необхідно зменшити.

Значною перевагою вихрострумів контролю є те, що його можна проводити без контакту перетворювача і об'єкта. Їх взаємодія відбувається зазвичай на віддаль, достатній для вільного руху перетворювача відносно

об'єкта (від долей до кількох міліметрів). Це дає змогу отримувати непогані результати навіть при високих швидкостях руху об'єктів.

Оскільки первинна інформація отримується в вигляді електричного сигналу стає можливим здійснення автоматизації даного виду контролю.

Ще однією перевагою вихрострумowego методу є той факт, що на сигнал перетворювача практично не впливає вологість, тиск і забрудненість газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю непровідними речовинами. Також перетворювачі відзначаються простотою конструкції. В більшості випадків котушки розміщують в запобіжному корпусі залитому компаундом. Завдяки цьому вони є стійкими до механічних і атмосферних впливів, можуть працювати в агресивних середовищах в широкому інтервалі температур і тисків.

Вихрострумний метод оснований на збудженні вихрових струмів, а тому використовується в основному для контролю якості електропровідних виробів: металічних, графітних, напівпровідникових. їм властива мала глибина зони контролю, що залежить від глибини проникнення електромагнітного поля в контрольоване середовище [1].

В дефектоскопії за допомогою даного методу виявляють дефекти типу несцільностей, які виходять на поверхню або залягають на невеликій глибині, а також різноманітні тріщини, розшарування, раковини, неметалічні включення і т.д. При ідеальних умовах контролю і малих впливах заважаючих факторів вдається виявити тріщини глибиною 0,1-0,2 мм, протяжністю 1-2 мм (при використанні накладного перетворювача) або протяжністю біля 1 мм і глибиною 1-5% від діаметра контрольованого прута (при використанні прохідного перетворювача) [4].

Важливу роль у точному проведенні контролю є правильний підбір перетворювача, геометричні параметри якого повинні бути чітко узгоджені з геометричними розмірами самого досліджуваного зразка. По робочому положенні відносно об'єкта контролю перетворювачі поділяються на прохідні, накладні і комбіновані. Хоча накладні ВСП можуть забезпечити більшу

локалізацію і чутливість контролю, та в основному вони зручні для об'єктів з плоскими поверхнями. А оскільки наш об'єкт має форму циліндра, тому доцільніше при використанні даного методу користуватись прохідними ВСП, які в свою чергу можуть бути зовнішні і внутрішні. Прохідні ВСП дають інтегральну оцінку контрольованих параметрів по периметру об'єкта, тому вони володіють меншою чутливістю до локальних варіацій його властивостей.

Але, як уже було підмічено, до кожного конкретного об'єкта контролю повинен підбиратись відповідний перетворювач через що, його використання на інших об'єктах стає неможливим. Це служить певним недоліком даного виду контролю, як і те, що методом важко визначити просторову картину дефекту.

1.3 Акустичний метод контролю

Акустичний контроль базується на властивості акустичних (ультразвукових) коливань розповсюджуватись на значні відстані в багатьох матеріалах і відбиватись від границі розділу двох середовищ. За інтенсивністю і часом приходу відбитих хвиль можна судити про наявність, розміри, місцезнаходження, а інколи - і про характер дефекту. За часовим інтервалом між випромінюванням та прийняттям відбитих від донної поверхні виробу акустичних коливань визначають товщину виробу. Контроль здійснюється шляхом сканування п'єзоперетворювачем поверхні контрольованого виробу. Ультразвуковий промінь може вводиться по нормалі або під різними кутами до поверхні виробу, що дозволяє збуджувати в ньому хвилі різних типів (поздовжні, поперечні, поверхневі, головні, нормальні та ін.) і виявляти дефекти різної орієнтації на різній глибині. Для створення акустичного контакту між п'єзоперетворювачем та об'єктом контролю використовують проміжне середовище – консистентне мастило, воду тощо. Чутливість методу за використання існуючої апаратури на частотах від 2 до 5 МГц (для сталі) забезпечує виявлення дефектів площею від 1мм та більше. В процесі контролю виявляються приховані внутрішні та поверхневі дефекти (як заводського, так і

експлуатаційного походження) - неметалеві включення, розшарування металу, тріщини, раковини, скупчення пор, непровари і таке інше.

Взагалі для акустичного метода неруйнівного контролю використовують коливання ультразвукового і звукового діапазонів частотою від 50 Гц до 50 МГц. Інтенсивність коливань зазвичай невелика, і не перевищує 1 кВт/см . Такі коливання відбуваються в області пружних деформацій середовища, де напруга і деформація пов'язані пропорційною залежністю [2].

Крім пружності по об'єму, в твердих тілах існує пружність по формі, тому в тілі можуть поширюватись хвилі двох типів: поздовжні і поперечні. Акустичні хвилі в твердих тілах характеризуються зміщенням, коливними швидкостями або тензорними деформаціями чи напругами.

Акустичні методи поділяють на дві великі групи: активні методи (використовують приймання і випромінювання акустичних хвиль), пасивні методи (основані тільки на прийманні хвиль). Проте кожен з методів має ряд підметодів з своїми перевагами і недоліками. Наприклад до активних відносяться такі методи, як тіньовий (оснований на зменшенні амплітуди пройденої хвилі під впливом дефекту); часово-тіньовий (базується на запізненні імпульсу, викликаному огинанням дефекту); луно-метод (реєструє луно-сигнали від дефекту) і ін [3].

Проте всі згадані ультразвукові методи мають ряд спільних недоліків:

- 1) Вимагають попереднього налагодження на зразках, що імітують реальні елементи об'єкта контролю.
- 2) Достовірність проведення контролю визначається, в значній мірі, суб'єктивними факторами: кваліфікацією дефектоскопіста чи його сумлінністю.
- 3) Відсутнє документування результатів контролю.
- 4) Контроль проводиться локально, вибірково, без можливості охоплення всієї поверхні об'єкту контролю. Це спричиняє високу трудомісткість контролю та недостатню достовірність діагностики в цілому

5) Чутливість ультразвукового контролю обмежується дифракційними явищами, які виникають при співрозмірності довжини хвилі ультразвукових коливань та розмірів дефектів.

1.4 Радіаційний метод контролю

По масштабах використання радіаційний метод контролю поступається хіба що акустичному. До його послуг вдаються практично всі великі машинобудівні підприємства. І причиною такого масового використання є ряд переваг через які метод заслуговує ретельного розгляду.

Виявлення внутрішніх дефектів при просвічуванні базується на здатності іонізуючого випромінювання неоднаково проникати через різні матеріали і поглинатися у них в залежності від товщини, роду матеріалу й енергії випромінювання.

Загальний закон поглинання проникаючого випромінювання описується законом Бугера:

$$I_n = I_0 e^{-\alpha \delta}, \quad (1.1)$$

де I_n – інтенсивність пучка падаючого випромінювання; I_0 – інтенсивність пучка пройшовшого випромінювання; α – коефіцієнт поглинання випромінювання речовиною; δ – товщина шару речовини.

Перевагами радіоізотопних джерел є невеликі габарити та маса, не вимагають джерел живлення і постійно готові до використання в будь-яких умовах.

Недоліки полягають в необхідності для них спеціальних сховищ, з часом знижується їх активність (ПЕД випромінювання радіоізотопного джерела в зв'язку з радіоактивним розпадом постійно зменшується) [5].

Іншими, більш поширеними в використанні джерелами ІВ є рентгенівські трубки. Процес утворення в них рентгенівського випромінювання проходить наступним чином. В рентгенівській трубці електрони з визначеною швидкістю, яка надається їм електричним полем високої напруги, попадають на поверхню анода, гальмуються в ньому і гублять свою швидкість, а значить, і кінетичну

енергію. При цьому кінетична енергія електронів частково перетворюється в променеву енергію, яка виділяється у вигляді фотонів рентгенівського випромінювання, а більша її частина переходить в теплову енергію і витрачається на нагрів анода, що в певній мірі є недоліком, оскільки виникає необхідність в додатковому охолодженні електрода. Проте значною перевагою є відносна безпечність роботи з такими джерелами і немає необхідності в спеціальних сховищах, як в випадку з радіоізотопами.

Щодо детекторів, які реєструють дефектоскопічну інформацію (здійснюють перетворення розподілу інтенсивності або сумарної дози іонізуючого випромінювання, одержаного після взаємодії з ОК, в видиме зображення), то їх можна назвати кілька, а саме: фотоплівка, ксерорадіографічна пластина, радіолюмінісцентні індикатори, електронно-оптичні перетворювачі і рентгеновідикони. Універсальним індикатором, що використовується в найбільш широкому спектрі випромінювань являється фотоплівка.

Даний індикатор використовує фотохімічний ефект взаємодії іонізуючих випромінювань з речовиною і широко застосовується для дефектоскопії і вивчення внутрішньої будови контрольованих об'єктів. Він володіє властивістю інтегрувати падаюче випромінювання, при чому при правильній організації контролю легко одержати дефектоскопічну чутливість не гірше 1% [1].

Отже, в підсумок можна сказати, що хоча й метод не є з дешевих (дорога рентгенівська апаратура, лабораторне обладнання, плівка та захисні засоби від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання), та простота, висока чутливість контролю і документованість отриманих результатів роблять його одним з найбільш вживаних в сучасній дефектоскопії і незамінним при контролі особливо відповідальних об'єктів.

1.5 Аналіз методів і постановка задачі на виконання магістерської роботи

З вищенаведеного огляду методів можна зробити висновок, що кожен з вищерозглянутих методів в змозі, в тій чи іншій мірі, забезпечити достатню точність проведення контролю об'єкта, яким виступає в даному випадку циліндри пневмоприводів. Тому для того, щоб обрати з методів найбільш зручний і доцільніший, зіставимо переваги й недоліки розглянутих методів.

Перший розглянутий нами метод - капілярний. Даний вид контролю, в залежності від набору дефектоскопічних матеріалів, дозволяє виявляти надзвичайно малі поверхневі несутцільності від 1 мкм (високочутливі набори) до 100 мкм (виявляються наборами пониженої чутливості).

Правда недоліком капілярного методу контролю є трудомісткість виконуваних робіт, що в свою чергу веде до пониження продуктивності. Використання методу є дешевим, коли знаходження і розшифровку результатів здійснює контролер-оператор візуальним способом. Але при цьому спостерігається: відсутність кількісної оцінки спостережуваної картини; неповний опис картини спостережуваного зображення поверхні об'єкта, оскільки повний опис недопустимо б збільшив тривалість видачі даних. Якщо ж використовувати складні технічні засоби, то вони значно підвищуватимуть вартість проведення контролю. І найголовніше - метод не дозволяє знаходити внутрішні дефекти.

Щодо вихрострумowego методу, значною перевагою є те, що його можна проводити без контакту об'єкта і перетворювача, до того ж перетворювач простий в конструкції. Оскільки первинна інформація отримується в вигляді електричного сигналу, то стає можливим здійснення автоматизації даного виду контролю. Також на сигнал перетворювача практично не впливає вологість, тиск і забрудненість газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю непровідними речовинами.

Недолік же полягає в тому, що інформація, надана перетворювачем, багатогранна і виникає необхідність використовувати прийоми для виділення корисної інформації. Також, до кожного конкретного об'єкта контролю повинен підбиратись відповідний перетворювач (наприклад для циліндрів з

різним діаметром і товщиною стінки). Це служить певним недоліком даного виду контролю, як і те, що вихрострумовим методом важко визначити просторову картину дефекту.

Якщо говорити про акустичний метод контролю, головною його перевагою є відносна дешевизна. Але й вистачає недоліків, зокрема: достовірність проведення контролю визначається суб'єктивними факторами, такими як кваліфікацією дефектоскопіста чи його сумлінністю; відсутнє документування результатів контролю і контроль проводиться локально, вибірково, без можливості охоплення всієї поверхні об'єкту контролю. І це спричиняє високу трудомісткість контролю та недостатню достовірність діагностики в цілому. Важливою характеристикою для проведення контролю, яка є і його недоліком - це величина мертвої зони, що характеризує нечутливість приладу до дефектів у певному діапазоні. Також, акустичним методом ми не можемо виявити дефекти, розміри яких, менші або співрозмірні з довжиною хвилі. В нашому випадку для циліндрів пневмопресів допустимі дефекти величиною 0,2 мм, тоді як величина акустичної хвилі $\lambda \sim 0,5$ мм.

І нарешті останній радіаційний метод контролю. Перевагою його над акустичним є краща прив'язка координат дефекту на об'єкті контролю. Його головними недоліками є значна вартість проведення контролю (дорога рентгенівська плівка і апаратура) і існує потреба здійснювати додаткові заходи по захисту обслуговуючого персоналу (наприклад встановлювати екрани, які б поглинали ІВ). Проте, коли мова йде про важливий вузол в пневмоприводах через руйнування якого підприємство може понести великі збитки, то метод завдяки своїй точності і документальному підтвердженні повністю оправдовує себе вже на ранніх стадіях свого використання.

Вище було сказано про використання двох типів джерел іонізуючого випромінювання: радіоізотопних та рентгенівських апаратів. У зв'язку з тим, що рентгенівські апарати більш універсальні, менше потребують затрат на безпеку персоналу і легше піддаються автоматизації, то доцільно вибирати рентгенівський метод контролю. Отже, завданням даної магістерської роботи є

розроблення недорогої і практичної автоматизованої системи для проведення контролю якості металевих циліндрів пневмоприводів. Роботу здійснюватимемо за такими етапами: теоретичне обґрунтування вибраного методу контролю, розробка функціональної схеми; розробка електричної принципової схеми; розробка конструкції установки; розробка методики проведення контролю якості металевих пневмоприводів, а, також, проведемо метрологічний аналіз.

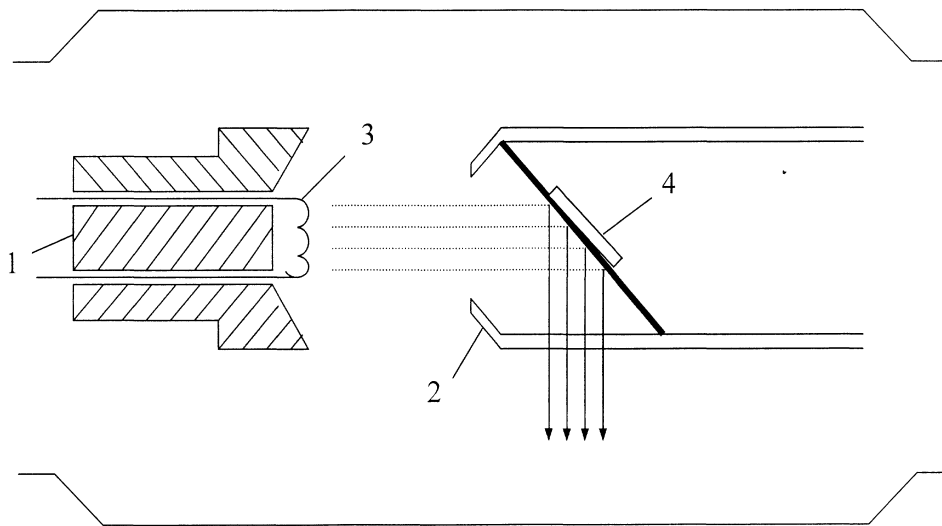
2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЦИЛІНДРІВ ГІДРОПРИВОДІВ

2.1 Теоретичне обґрунтування вибраного методу контролю якості металевих циліндрів гідроприводів

Як уже частково було згадано в попередньому розділі, рентгенівське і гамма-випромінювання як світлові, ультрафіолетові і радіо хвилі, мають електромагнітну природу. Відмінність між радіохвилями, світловими коливаннями, рентгенівським і гамма-випромінюванням полягає в різних довжинах хвиль. Так довжина хвилі видимого світла становить - $(4\div 7) \cdot 10^{-7}$ м, рентгенівського випромінювання - $6 \cdot 10^{-13} \div 10^{-9}$ м і гамма-випромінювання – $10^{13} \div 4^{-12}$ м [7].

Рентгенівське випромінювання і гамма-випромінювання подібні і в порівнянні з іншими володіють більшою енергією, чим, наприклад, видиме світло, по-різному поглинаються різними середовищами при проходженні через них. Завдяки цим властивостям такого роду випромінювання використовують для дефектоскопії виробів; крім того, вони не піддаються дії електричних і магнітних полів, діють на фотопластину, викликають люмінесценцію деяких хімічних сполук, іонізують гази, впливають на живі організми.

Утворення рентгенівського випромінювання відбувається в електронних оболонках атомів при дії на них вільними електронами, які володіють великою швидкістю. Процес одержання вільних електронів, їх прискорення (надання їм достатньої кінетичної енергії) і виникнення при їх допомозі рентгенівського випромінювання відбувається в рентгенівських випромінювачах. Складається така установка з рентгенівської трубки і захисного кожуха, заповненого ізолюючим середовищем: трансформаторне масло, повітря або газ під тиском. Оболонка трубки являє собою запаяний скляний балон (рис. 2.1).



1 –катод; 2- фокусуючи пластини; 3- нитка розжарювання;
4- анод

Рисунок 2.1 – Спрощена схема рентгенівської трубки

В посудину впаяні два електроди - катод 1 і анод 4. Катод, виготовлений з вольфрамової дротини в вигляді спіралі, розжарюється джерелом струму до високих температур і випускає електрони. Анод трубки, що використовується для одержання тормозного випромінювання виготовляють в вигляді пластини з вольфраму або молібдену. Щоб електрони одержали необхідну кінетичну енергію, до аноду і катоду трубки прикладають високу напругу [1].

Процес утворення рентгенівського випромінювання проходить наступним чином. В рентгенівській трубці електрони з визначеною швидкістю, яка надається їм електричним полем високої напруги, попадають на поверхню анода, гальмуються в ньому і гублять свою швидкість, а значить, і кінетичну

енергію. При цьому кінетична енергія електронів частково перетворюється в променеву енергію, що виділяється у вигляді фотонів рентгенівського випромінювання, а більша її частина переходить в теплову енергію і витрачається на нагрів анода.

В рентгенівських трубках напругою до 60 кВ тільки 0,1% енергії електронного пучка перетворюється в енергію рентгенівських променів. При напрузі 100 кВ ККД трубки зростає до 1%. При 2 МеВ він досягає 10%, а при 15МеВ - більше 50%.

Виявлення внутрішніх дефектів при просвічуванні базується на здатності рентгенівського випромінювання неоднаково проникати через різні матеріали і поглинатися у них в залежності від товщини, роду матеріалу й енергії випромінювання.

Загальний закон поглинання рентгенівського і гамма-випромінювання описується, як уже було згадано законом Бугера (1.1).

Проходження рентгенівських променів через речовину супроводжується рядом характерних явищ (тепловий, іонізаційний, електричний люмінесцентний, фотохімічний і біологічний ефекти), що використовуються у дефектоскопії, різних галузях техніки і дозиметрії.

При узагальненні всіх процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, можна відмітити наступні результати, що важливі для цілей радіаційного контролю якості:

- 1) Поглинання первинного випромінювання виражається в зменшенні його інтенсивності по експоненціальному закону так, що інтенсивність випромінювання після проходження через об'єкт контролю рівна величині згідно (1.1).

- 2) Утворення нових видів випромінювання, яких не було в первинному випромінюванні, з меншою енергією квантів і з різним напрямом його розповсюдження, аж до зворотного;

- 3) Розширення кута, в якому розповсюджується випромінювання, що пройшло через об'єкт контролю, в порівнянні з кутом в якому поширювалось

первинне випромінювання. Це явище усереднено враховується при аналізі випромінювання, яке попадає на індикатор або первинний вимірювальний перетворювач. Множник більше 1, який називають фактором накопичення.

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

Рентгенівське та γ -випромінювання мають близьку фізичну природу, і взаємодіють в формі електромагнітних коливань, що відрізняються довжиною хвилі (енергією кванта) або походженням фотонів, тому їх взаємодія з речовиною походить у формі трьох процесів: фотоелектричного ефекту, розсіювання та утворення пар "електрон-позитрон" [6].

Перший - фотоэффект, полягає в тому, що при одержанні електроном оболонки атома від фотона випромінювання енергії більшої, ніж його енергія зв'язку в атомі, він залишає атом зі швидкістю, яка відповідає надлишковій енергії фотона, переходячи в зону провідності. Фотоелектрони, що звільнюються під дією випромінювання, викликають люмінесценцію деяких речовин (використовуються при радіографії у підсилюючих екранах).

Процес описується рівнянням балансу енергії:

$$h\nu = W_e + W_v \quad (2.1)$$

де W_e - робота виходу електрона;

$$W_v = m_0 c^2 \left(\left\{ 1 - (v_e/c)^2 \right\}^{-0.5} - 1 \right) \quad (2.2)$$

де W_v - кінетична енергія фотоелектрона; v_e - швидкість електрона; m_0 - маса спокою електрона.

Із збільшенням частоти фотона ν поряд з іонізацією в зовнішньому шарі за рахунок переходу периферійних електронів (із зовнішніх оболонок) в вільний стан з'являються вільні електрони, вирвані з внутрішніх оболонок атомів. Останнє приводить до виникнення так званого характеристичного випромінювання атомами речовини.

Електронні шари, або оболонки атома, позначаються буквами K, L, M, N, O, P. Найближчий до ядра шар K характеризується тільки одним рівнем енергії,

шари L і Р трьома, шари М і О п'ятьма, шар N сім'ю. В залежності від атомного номера Z, число стаціонарних рівнів енергії змінюється від 1 до 24 [4].

При вириванні електрона місце, що звільнилося не залишається пустим, на нього переходить електрон з одного з вищих рівнів енергії. Цей процес супроводжується випусканням фотона частотою $\nu = (W_i - W_j)/h$. Переходи електронів на рівень К дають лінії характеристичного К-випромінювання, переходи на рівні L лінії L-випромінювання і т.д. Робота виривання електрона з шару L менша роботи виривання з шару К, тому частота характеристичного К-випромінювання більша частоти L-випромінювання і тим більша М-, N-випромінювань і т.д. Як показують теоретичні і експериментальні дослідження, розглянута схема поглинання фотонів (зліва на рис. 2.2) не є єдиною. Можливий також розвиток процесу поглинання за іншою схемою (праворуч на рисунку 2.2).

Енергія, виникаюча при переході електрона з верхнього рівня на нижній, витрачається на виривання електрона ($e_2 - e_4$) з вищої оболонки.

На місце, яке звільнилося, переходить електрон із ще вищого (по відношенню до нього) шару, формується фотон, відповідний цьому переходу, виривається новий електрон з ще вищого шару і т.д. Таким чином, процес поглинання первинного фотона $h\nu_1$ може супроводжуватися випусканням атомом фотоелектрона першого (e_1) і другого роду (e_2, e_3).

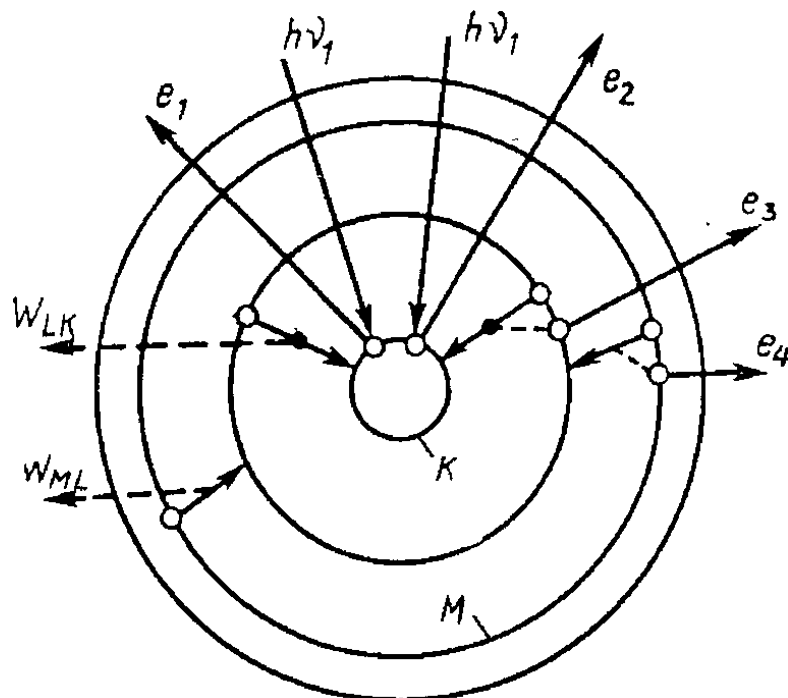


Рисунок 2.2 – Схема поглинання фотонів з випусканням характеристичного випромінювання (зліва) і з випусканням електронів другого роду (праворуч)

Із зростанням частоти ν все більше починає виявлятися ефект розсіювання - комптон-ефект - падаючих фотонів. Внаслідок зіткнення фотона із зовнішніми атомними електронами утвориться новий квант з меншою енергією і з речовини вилітає електрон (так званий "електрон віддачі") з енергією $h\nu - h\nu_s$. Така ситуація відповідає випадку, коли падаючий квант взаємодіє з нерухомим вільним електроном. Якщо зв'язок електрона з атомом великий (різниця $h\nu - h\nu_s$ негативна), то можливе відхилення кванта від первинного напрямку поширення без зміни його енергії (когерентне розсіювання).

У першому випадку довжина хвилі розсіяного кванта (мкм) збільшується на величину $4,86 \cdot 10^{-2} \sin^2 (\varphi/2) \cdot 10^{-4}$, в залежності від напрямку розсіювання фотони мають різну енергію $h\nu_s$ [5].

Енергія розсіяного кванта і електрона віддачі відповідно рівна

$$h\nu_s = \frac{h\nu}{1+h\nu(1-\cos\varphi)/m_0\cdot c^2}; W_\nu = \frac{(h\nu)^2(1-\cos\varphi)}{m_0\cdot c^2+h\nu(1-\cos\varphi)} \quad (2.3)$$

і не залежить від властивостей речовини. Ця особливість розсіяного випромінювання широко використовується на практиці, переважно в приладах технологічного контролю. Комптон-ефект відіграє важливу роль в ослабленні іонізуючих випромінювань середньої енергії (0,1. ..0,5 пДж) легкими речовинами.

Розвиток процесу взаємодії фотонів з речовиною по шляху складного фотоефекту частіше спостерігається в атомах з малим атомним номером. Так, у аргону тільки 7% переходів здійснюється випромінюванням, у криптону 40%, у молібдену 68%, решта поглинутої енергії витрачається на багаторазову іонізацію без випромінювання [8].

Для утворення пари “електрон-позитрон” потрібно, щоб енергія первинного кванта перевищувала енергію спокою електрона і позитрона. Утворені позитрон і електрон рухаються з такою швидкістю, щоб їх кінетична енергія була рівна різниці між енергією первинного кванта і енергією спокою пари. Електрон і позитрон можуть рухатись в речовині і взаємодіяти з іншими атомами. При зіткненні електрона з позитроном вони можуть нейтралізувати один одного і утворювати два кванти, які рухаються в протилежних напрямках.

Щодо розсіювання рентгенівського та γ -випромінювань, то відбувається воно в двох формах: класичне (когерентне) та комптонівське (некогерентне), які характеризуються лінійним коефіцієнтом послаблення за рахунок розсіювання μ_p .

У випадку падіння на речовину довгохвильового випромінювання при $\lambda > 0.03$ нм, коли енергія первинного фотона є рівна енергії зв'язку електрона з ядром, відбувається когерентне розсіювання. Первинні фотони викликають вимушені коливання електронів, що слабо зв'язані з атомами, які при цьому самі випромінюють вторинні розсіяні γ -кванти тієї ж довжини хвилі, але в іншому напрямку (максимум - в прямому та зворотному, мінімум - в перпендикулярній площині). Лінійний коефіцієнт послаблення

випромінювання за рахунок когерентного розсіювання пов'язаний з густиною речовини і рівний:

$$\mu_p = 0.402\rho \cdot (Z/A) \quad (2.4)$$

де Z - порядковий номер елемента; A - атомна маса елемента.

Для більшості речовин, крім водню, $Z/A \approx 0.5$, тому $\mu_{p1} \approx 0.2 \cdot \rho$. Якщо первинні γ -кванти мають довжину хвилі меншу 0,03 нм то починають проявлятися не тільки їх хвильові властивості, але і їх корпускулярні властивості, що викликає зіткнення, подібні зіткненням двох пружних кульок.

При комптонівському розсіюванні електрону передається лише частина енергії первинного кванта. В результаті з'являється вторинний електрон, що рухається під кутом від 0 до 90° до напрямку первинного кванту, а не поглинута ним частина енергії кванта буде перетворена в меншу енергію вторинного фотона, який може розповсюджуватись в будь-якому напрямку. Утворений новий фотон також може взаємодіяти з іншими електронами або атомами, що викликає появу багатократно розсіяних фотонів з різною енергією, меншою чим у первинного фотона, поки не відбудеться їх повне поглинання. Комптонівське розсіювання є основним процесом взаємодії випромінювань з речовиною в широкому інтервалі енергій випромінювань [7].

Оцінка правильності проведення контролю проводиться по еталонам чутливості. Для цього визначається дефектоскопічна чутливість S_d як найменший розмір дефекту, що виявляється (b_E - найменший діаметр дротини або глибина канавки еталона) і вимірюється в процентах відносно товщини об'єкта контролю b :

$$S_d = \frac{b_E \cdot 100}{b + b_E} \quad (2.5)$$

Яскравість зображення на індикаторі визначається інтенсивністю пройшовшого через об'єкт випромінювання. З цього слідує, що для отримання зображення достатньої яскравості при великій товщині виробу необхідно вибрати джерело з більшою енергією (випромінювання з малою енергією можуть бути повністю поглинуті виробом).

Відстань між джерелом випромінювання і ОК (фокусна віддаль), вибирається виходячи з необхідної інтенсивності (J_{Π}) з врахуванням допустимої величини її зменшення на краях зображення. Дана інтенсивність змінюється приблизно за законом:

$$J_{кр} \approx J_{\Pi} \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.6)$$

Якщо забезпечити вимогу не вдається, необхідно вибрати більш потужне джерело випромінювання або збільшити час експозиції. При використанні фотоплівки можна отримати яскраве і контрастне зображення, збільшуючи поглинену дозу випромінювання, що росте по експоненціальному закону при збільшенні товщини і обернено пропорційна інтенсивності джерела, що ускладнює просвічування товстих виробів й напівфабрикатів. Для зниження часу експозиції використовують екрани - передній (зазвичай металевий) і задній (флуоресцентний). Фокусна віддаль R вибирається з компромісних умов. При її збільшенні поліпшується якість зображення контрольованого об'єкта, оскільки знижується нерізкість зображення й менше розходяться промені від джерела (центральна проекція). Але збільшення відстані R веде до необхідності також збільшувати радіаційний вихід джерела (що погіршує умови роботи персоналу), час експозиції чи інтенсивність випромінювання джерела (що знижує продуктивність праці). Якщо випромінювання проходить через дефектну область з коефіцієнтом лінійного поглинання μ_d і з розміром x у напрямку поширення випромінювання, інтенсивність випромінювання буде дорівнювати:

$$J_d = J_0 \frac{R_0^2}{R^2} \left[2 \left(\frac{t}{T_1} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \exp[-\mu(b-x) - \mu_d x] \quad (2.7)$$

Контрастність зображення дефекту, рівна відношенню інтенсивності випромінювання в дефектному і бездефектному місці, становить

$$K_d = \exp[-(\mu_d - \mu)x] \quad (2.8)$$

Таким чином контрастність отриманого зображення при правильному виборі умов проведення радіаційного контролю якості залежить тільки від

різниці лінійних коефіцієнтів поглинання матеріалу ОК і речовини дефекту, а також від розмірів дефекту в напрямку просвічування [9].

Для перетворення розподілу інтенсивності або сумарної дози ІВ, одержаного після взаємодії з ОК, в видиме зображення можуть використовуватись наступні індикатори: фотоплівка, ксерорадіографічна пластина, радіолюмінісцентні індикатори, електронно-оптичні перетворювачі і рентгеновідикони.

Найбільш вживаним і універсальним індикатором, щовикористовується в широкому спектрі випромінювань являється фотоплівка (порівняно з іншими індикаторами має кращу роздільну здатність).

Принцип її дії базується на фотохімічному ефекті взаємодії іонізуючих випромінювань з речовиною, широко застосовується для дефектоскопії і вивчення внутрішньої будови контрольованих об'єктів. Вона володіє властивістю інтегрувати падаюче випромінювання. При чому, при правильній організації контролю легко одержати дефектоскопічну чутливість не гірше 1%. Зображення на фотоплівці характеризує величина, яку називають степінь почорніння:

$$D = \lg (\Phi/\Phi_0) \quad (2.9)$$

де Φ , Φ_0 - світловий потік, що падає на негатив і який пройшов через нього.

Степінь почорніння фотоплівки залежить від добутку потужності експозиційної дози на час опромінення — експозиції або від добутку інтенсивності іонізуючого випромінювання на час експозиції

Для зменшення часу експозиції від 2 до 15 раз використовують підсилюючі екрани. Підсилюючі екрани перетворюють падаюче випромінювання в інший вид, яке в більшій степені, чим первинне випромінювання, впливає на фотоемульсію.

Фотоплівку просто і зручно використовувати при проведенні неруйнівного контролю в дрібносерійному (як в нашому випадку) і одиничному виробництві, а результати легко зберігати довгий час.

Щодо ксерорадіографічної пластини, вона використовує електричний ефект взаємодії іонізуючого випромінювання. Ксеропластики складаються з електропровідної основи (наприклад з алюмінію) і тонкого фото шару, найчастіше з аморфного селену.

Під час експозиції іонізуюче випромінювання від контрольованого об'єкту, попадаючи в матеріал напівпровідникового фото шару ксеропластики, частково розряджає його, при чому тим більше чим більша інтенсивність падаючого іонізуючого випромінювання. Одержане зображення в вигляді електростатичного рельєфу перетворюють в видиме шляхом обпилення фото шару зарядженим сухим дрібнодисперсним порошком. Для зручності розшифрування результатів контролю і для їх зберігання одержане зображення переносять на папір.

Радіолюмінісцентні індикатори виготовляють на основі різних люмінофорів в вигляді екранів або монокристалів. Ці індикатори перетворюють падаюче іонізуюче випромінювання в видиме свічення, що дозволяє оператору проводити неруйнівний контроль безпосередньо в технологічному потоці або фіксувати видиме зображення за допомогою фото або кіно апаратури.

Якщо говорити про електронно-оптичні перетворювачі, то при радіаційному контролі якості їх використовують для двох цілей: для перетворення зображення іонізуючого випромінювання в видиме зображення і для підвищення яскравості зображення в видимому світлі [1].

Перевагою електронно-оптичних перетворювачів є оперативне одержання яскравого видимого зображення, що дозволяє працювати при понижених інтенсивностях випромінювання. Недоліком цих пристроїв є мала роздільна здатність.

Чіткість знімку або різкість зображення просвічуваного об'єкта визначається шириною границі, яка розділяє дві ділянки знімка з різними оптичними щільностями. Ця перехідна границя на радіограмі являє собою радіографічну нерізкість, яка може бути обумовлена різними причинами, зокрема деякі з них:

- нерізкість переміщення U_{Π} обумовлена незалежним переміщенням ОК, плівки чи джерела випромінювання під час просвічування;
- внутрішня нерізкість рентгенівських плівок U_B . Дана нерізкість плівок обумовлена розсіюванням вторинних електронів в емульсійному шарі плівки.

При взаємодії іонізуючого випромінювання з бромистим сріблом емульсії, основою плівки або свинцевою фольгою утворюються фотоелектрони. Ці електрони попадають в емульсійний шар плівки і викликають в ній фотохімічні реакції. В результаті цього границя зображення стає нечіткою. Чим більша енергія IB , тим більшу кінетичну енергію отримують вторинні електрони і тим більший шлях вони можуть пройти в плівці. Тому внутрішня нерізкість зростає при збільшенні енергії випромінювання;

- екранна нерізкість U_e виникає внаслідок розсіювання світла в кристалах флуоресцентної речовини. Даний вид нерізкості зустрічається рідко, оскільки на практиці флуоресцентні екрани не використовуються без особливої необхідності при напрузі на трубі більше 100 кВ. Екранна нерізкість зростає при поганому контакті екрана з плівкою;
- геометрична нерізкість U_r виникає внаслідок протяжності джерела випромінювання і залежить від геометричних умов просвічування. Оскільки виникнення рентгенівського зображення відбувається аналогічно виникненню оптичного зображення, то при просвічуванні предмету випромінюванням від протяжного джерела коло зображення предмета появляється область затінення, внаслідок чого зображення виглядає нечітким [4].

При високопродуктивному радіаційному контролі різні причини виникнення нерізкості не можуть бути усунені повністю, а способи їх ліквідації є суперечливими, тому коли розміри мінімальних виявлених дефектів, обумовлені тою чи іншою причиною виникнення нерізкості, приблизно рівні, організацію контролю можна вважати оптимальною.

2.2 Розробка структурної схеми установки

Структурна схема установки повинна містити окрім джерела випромінювання і об'єкта контролю складові частини, що забезпечать проведення автоматизованого контролю.

Розглянемо принцип роботи установки за структурною схемою МР.МТТм-05.01.00.000 С1 і часовою діаграмою МР.МТТм -05.01.00.001.

Після проведення всіх підготовчих робіт, перевірки обладнання, закріплення об'єкта контролю в патроні, можна приступати до безпосереднього проведення контролю. Дозвіл для початку проведення контролю після ввімкненні блоку живлення БЖ перемикачем SA5, який живить електричну схему установки (епюра $U_{ж}$), дає схема співпадіння СС1, яка спрацьовує при виконанні наступних умов, а саме: ввімкнення при закриванні входу до лабораторії просвічування захисним екраном (епюра U_{3E}) перемикача SA1 (про спрацювання свідчить включення сигнальної лампи СЛ через реле сигналізації РС); ввімкнення насосу для охолодження рентгенівської трубки перемикачем SA2 (епюра $U_{нас}$); ввімкнення рентгенівського апарату і зокрема розігріву катода на рентгенівській трубці перемикачем SA3 (епюра $U_{роз}$); ввімкнення переміщення блоку випромінювання. Після закінчення переміщення випромінювач включає перемикач SA4 (епюра $U_{пер}$). Так ми отримуємо всі вхідні сигнали, що дає нам дозвіл на початок проведення контролю. При цьому формувач імпульсів ФІЗ (епюра $U_{Фіз}$) подає сигнал на тригер Тг1, вихідний сигнал якого (епюра $U_{Тг1}$) в свою чергу потрапляє на схему співпадіння СС4. Дана схема вмикає тригер Тг3 (епюра $U_{Тг3}$) який дає дозвіл на включення процесу просвічування. Перший запуск схеми співпадіння СС4 здійснюється вручну натисканням кнопки SB1, сигнал з якої через логічний елемент D3 "2АБО", потрапляє на один з входів схеми СС4 (епюра U_{SB}).

З початком включення випромінювача (епюра $U_{ан}$) починає працювати схема дозиметра, яка підраховує величину експозиційної дози. Імпульси з газорозрядного лічильника ВD1 потрапляють на лічильники Ліч.3 і Ліч.4. Лічильник Ліч.3 подає інформацію про експозиційну дозу на індикатор І, а

лічильник Ліч.4, через блок комутації БК, з'єднаний з схемою співпадіння СС3. Коли значення лічильника відповідатиме наперед розрахованому значенню, зафіксованому на БК, вироблений схемою СС4 сигнал потрапить на формувач імпульсів ФІ6, з виходу якого короткий імпульс через логічний елемент D4 “2АБО” переведе тригери Тг1 і Тг3 в нульове положення, а Тг2 в одиницю (епюра $U_{Тг1}$, $U_{Тг3}$, $U_{ТгГ}$)- Тригер Тг2, через тиристорний блок БТ і тепловий запобіжник ТЗ вмикає двигун повороту $D_{пов}$. На валу двигуна закріплений диск з отворами, який дозволяє завдяки оптопарі ОД із світлодіода і фотодіода здійснювати реєстрацію кількості обертів (оптичні елементи світлодіод і фотодіод розташовані один навпроти одного, і в момент попадання між ними отвору диска виробляють електричний сигнал). Перетворений світловий сигнал в електричний через формувач імпульсів ФІ2 потрапляє на лічильник Ліч.2. Формувач імпульсів ФІ2, отриманий з фотодіода аналоговий сигнал, переводить в стійкий сигнал прямокутної форми (сигнал прямокутної форми роботу цифрових елементів робить більш стабільною). Коли значення лічильника відповідатиме наперед встановленому значенню на схемі співпадіння СС2 остання спрацює перепадом вихідної напруги, що в свою чергу приведе до спрацювання формувача імпульсів ФІ4 (епюра $U_{Ф14}$), який через логічний елемент D2 “2АБО” переведе тригер Тг2 в нульове положення. В свою чергу від сигналу тригера Тг2, формувач імпульсів ФІ5 через логічний елемент D3 “2АБО” переведе тригер Тг3 в одиницю, що включить реле $и_{ан}$ і процес повториться з спрацюванням схеми дозиметра (при цьому відбувається обнуління лічильників).

Кількість просвічувань реєструються лічильником Ліч.1. Після останнього просвічування лічильник Ліч.1 виробить сигнал, який переведе тригери Тг1 і Тг3 в нульове положення (епюра $U_{Тг1}$, $U_{Тг3}$), що унеможливить включення рентгенівського апарату. Після виключення рентгенівського апарату РАП відкриваємо захисний екран ЗЕ (двері), знімаємо об'єкт контролю ОК1, встановлюємо ОК2 і розпочинаємо новий цикл. В кінці вручну вимикаємо

насос, натисканням кнопки вимикаємо розжарення катода і після переміщення вузла випромінювання вимикаємо захисний екран (епюра $U_{нас}$, $U_{роз}$, $U_{пер}$, $U_{ЗЕ}$).

2.3 Розрахунок режиму просвічування

Перед тим, як вибрати необхідні режими просвічування, слід добре ознайомитись з параметрами досліджуваного об'єкта і встановленими на нього нормами, які дозволяють визначати допустимі і недопустимі дефекти.

В даній магістерській роботі в якості об'єкта контролю виступає пневматичний циліндр з зовнішнім діаметром 440 мм і товщиною стінки 10 мм.

Дефектом вважається тріщина, несучільність чи інше неметалічне включення протяжністю 0,2 мм. Отже, необхідно підібрати детектор з чутливістю в двічі більшою, а саме 0,1 мм. Дану умову задовольняє рентгенівська плівка типу РТ4 (у відповідності з рис. А.1).

Згідно табл. 18, с.124 [7] для товщини 10 мм рекомендована анодна напруга складає 100 кВ (у відповідності з табл. А.1). Даним параметрам задовольняє рентгенівська трубка типу 0,3БПВ Б-150 з винесеним анодом (дозволяє проводити просвічування з середини об'єкта контролю), розміром фокусної плями 0,5 мм, кутом просвічування 55° .

Анодний струм підбирається відповідно до напруги на рентгенівській трубці згідно ТУ 3.05.036.008Т01 (у відповідності з рисунком А.2) і становить 2.5 мА.

Тепер перевіримо чи розмір фокусної плями є достатнім для ефективного проведення контролю. Для цього скористаємось наступною формулою:

$$F = \delta \cdot ((d_a / U_\Gamma) + 1) \rightarrow d_a \leq (U_\Gamma \cdot (F - \delta)) / \delta \quad (2.10)$$

де δ - товщина об'єкта контролю, мм; d_a - величина фокусної плями, мм; U_Γ - геометрична нерізкість, мм.

Для плівки РТ4 при чутливості 0,01 мм максимальна внутрішня нерізкість U_B становить 0,05 мм (у відповідності з таблицею А.2). І оскільки, згідно умови, що $U_B \geq U_\Gamma$, вибираємо $U_\Gamma = 0,05$ мм. Так як плівка накладатиметься

на зовнішню поверхню ОК, то зовнішній радіус циліндра і становитиме фокусну віддаль $F=220$ мм. Підставляючи числові значення в формулу отримуємо

$$d_a \leq \frac{0.05 \cdot (220 - 10)}{10} = 1.05 \text{ мм}$$

Як бачимо $d_a > 0,5$, а отже вибрана нами рентгенівська трубка цілком задовольняє поставленій задачі.

Наступним кроком розрахуємо час експозиції за формулою

$$T_{\text{екс}} = D_e / I_a \quad (2.11)$$

де D_e - експозиція, $\text{мА} \cdot \text{хв}$; I_a - анодний струм, мА .

Згідно номограми (у відповідності з рисунком А.3) для нашої товщини ОК 10 мм і при напрузі рентгенівської трубки 100 кВ $D_e = 60 \text{ мА} \cdot \text{хв}$ (для плівки РТ5 і при $F=75$ см).

Для того, щоб перейти до плівки РТ4 скористаємось перевідним коефіцієнтом (у відповідності з таблицею А.3)

$$D_e = K_{\text{РТ4}} \cdot D_{e(\text{РТ5})} / K_{\text{РТ5}} = 2,5 \cdot 60 / 7,5 = 20 \text{ мА} \cdot \text{хв} \quad (2.12)$$

Тоді час експозиції при $F=75$ см становитиме

$$t_{\text{екс}} = 20 / 2,5 = 8 \text{ хв (480с)}$$

Для визначення часу експозиції при $F=22$ см скористаємось пропорцією

$$\frac{t_1}{F_1^2} = \frac{t_2}{F_2^2} \rightarrow t_2 = \frac{t_1 F_2^2}{F_1^2} = \frac{480 \cdot 22^2}{75^2} = 41,5 \text{ с} \quad (2.13)$$

Кут просвічування трубки становить 55° , а отже для контролю всієї поверхні необхідно зробити $360/55 \approx 7$ просвічувань. Таким чином загальний час експозиції становитиме

$$t_{\text{заг}} = t_2 \cdot 7 = 41,5 \cdot 7 \approx 290 \text{ с.}$$

З отриманих даних випливає, що нам необхідно розробити установку, яка б автоматично витримувала час експозиції, а потім обертала об'єкт контролю на строго визначений кут.

2.4 Розробка конструкції установки

Як уже було розглянуто в п. 2.2 наша установка повинна забезпечувати обертання об'єкта контролю відносно його осі. Цього вимагає рентгенівська трубка, діапазон випромінювання якої становить 55° , а отже, щоб проконтролювати всю поверхню необхідно циліндр провертати строго на відповідний кут ($360/55 \approx 7$ раз).

Складальне креслення установки приведено в МР.МТТм-05.01.00.000 СК. Коротко розглянемо принцип її роботи.

До жорстко звареного корпусу 1 (виготовлений на основі швелерів і кутників профіля №14), через кронштейн 10 болтами 18 прикріплений електродвигун 23, який саме і здійснює обертання об'єкта контролю 4. Проте двигун серії 4АА63А6УЗ здійснює 1000 об/хв., що неуможливорює робити неповні оберти на строго визначений кут. Тому, для зменшення швидкості обертання між об'єкта контролю 4 і електродвигуном 23 встановлений редуктор 2, вхідний вал якого з'єднаний з електродвигуном півмуфтами 12 і 13, а на вихідний вал насаджений самоцентруючий токарний патрон до якого і кріпиться об'єкт контролю 4. Редуктор 2 прикріплений до корпусу 1 болтами 17.

Також в даній установці передбачена автоматична подача випромінювача 24 до об'єкта контролю вузлом переміщення 5. Рух передається електродвигуном, прикріпленим до корпусу 1 кронштейном 9 через зубчасту передачу. Зокрема передача обертового руху здійснюється через шестерню 11 прикріпленою до валу електродвигуна шпонкою 20.

Складальне креслення випромінювача 5 приведено в МР.МТТм- 05.01.05.000 СК. Вузол кріпиться до основи 1 і працює наступним чином. Через зубчасту передачу шестерня 7 приводить в обертання гвинт 5, насаджений з обох кінців на підшипники 25 і прикріплений кронштейнами 8 до основи 1 болтами 15 (шестерня кріпиться до гвинта шпонкою 18). На гвинт 5 насаджена гайка 9, яка при його обертанні здійснює поступальний рух. Цей рух повинен передаватись випромінювачу встановленому на стійці 3 і закріпленому хомутом 4. Для цього гайка 9 жорстко прикріплена до стійки 3 (щоб гайка не оберталася навколо

своєї осі її прикручується болтами 20, через втулку 10 до стійки). Щоб випромінювач переміщався строго по центру передбачені направляючі 6. Також, для прикриття шестерні врахований захисний кожух, який складається з корпусу 11 і кришки 12. Кожух виготовлений з листа сталі і кріпиться до основи 1 посередництвом болтів 17.

Тепер проведемо розрахунок редуктора, маючи такі вихідні дані:

- двигун 4АА63А6УЗ (потужністю 0,4 кВт і 1000 об/хв.);
- швидкість обертання патрона - 1 об/хв.;

З метою досягнення компактності розрахуємо чотирьохступінчатий редуктор на основі евольвентних циліндричних зубчастих передач (прямозубі).

Відстань між колом вершин і западин є висотою зубця h . Висота складається з висоти головки і ніжки зубця

$$h = h_a + h_f \quad (2.14)$$

Відстань між двома профілями зубця S_2 , а між сусідніми e_2

$$p = S_1 + e_1 = S_2 + e_2 \quad (2.15)$$

де p - крок по ділильному колу, мм.

$$P = \pi \cdot m \quad (2.16)$$

де m - модуль зубчастої передачі

Діаметр ділильного кола розраховується по формулі

$$d_{\delta i} = z_i \cdot m / \cos \beta \quad (2.17)$$

де z_i - кількість зубців i -тої передачі; β - кут зачеплення.

Діаметр кола вершин

$$d_{ai} = d_{\delta i} + h_a^* \cdot m \quad (2.18)$$

де h_a^* - коефіцієнт висоти головки зубця вихідного контуру.

Діаметр кола западин

$$d_{fi} = d_{\delta i} - h_f^* \cdot m \quad (2.19)$$

де h_f^* - коефіцієнт ніжки головки зубця вихідного контуру.

Кількість зубців для першої шестерні вибираємо $z_1=15$, передаточне число $u_1=5$, кут зачеплення $\beta=15^\circ$ і згідно ГОСТ9563-60 $m=2,5$ [6]. Таким чином, підставивши числові значення отримуємо:

$$P=3.14 \cdot 2.5=7.85 \text{ мм}$$

$$d_{\delta i}=15 \cdot 2.5 / \cos 15=38.8 \text{ мм}$$

Отже, діаметр ділительного кола $d_{\delta i}=38,8$ мм. Тепер розрахуємо діаметри коло вершини і западини, приймаючи, що $h_a^*=1,8$ і $h_f=2,1$:

$$d_{ai}=38.8+1.8 \cdot 2.5=43.3 \text{ мм}$$

$$d_{fi}=38.8-2.1 \cdot 2.5=33.6 \text{ мм}$$

Кількість зубців на другому колесі визначається

$$z_2 = z_1 \cdot u_1 = 15 \cdot 5 = 75 \quad (2.20)$$

Таким чином діаметри другого колеса становитимуть:

$$d_{\delta 2}=75 \cdot 2,5 / \cos 15=194,2 \text{ мм};$$

$$d_{a2}=38,8+1,8 \cdot 2,5=198,6 \text{ мм};$$

$$d_{f2}=38,8-2,1 \cdot 2,5=188,8 \text{ мм}$$

Передаточне число для останнього колеса в редукторі становить $u_2=8$, а отже кількість зубців становитиме

$$z_3 = z_1 \cdot u_2 = 15 \cdot 8 = 120$$

Відповідно діаметри колеса будуть рівними:

$$d_{\delta 3}=120 \cdot 2,5 / \cos 15=310.6 \text{ мм};$$

$$d_{a3}=310.6+1,8 \cdot 2,5=315.1 \text{ мм};$$

$$d_{f2}=310.6-2,1 \cdot 2,5=305.3 \text{ мм}.$$

Зубчасте колесо розташоване на гвинті вузла переміщення з передаточним числом $u_3=10$, відповідно кількість зубців становитиме

$$z_4 = z_1 \cdot u_3 = 15 \cdot 10 = 150$$

Діаметри ділительного кола, кола при вершині і западині дорівнюватимуть:

$$d_{\delta 4}=150 \cdot 2,5 / \cos 15=388.2 \text{ мм};$$

$$d_{a4}=388.2+1,8 \cdot 2,5=392.7 \text{ мм};$$

$$d_{f4}=388.2-2,1 \cdot 2,5=382.9 \text{ мм}.$$

2.4.1 Розробка блоку формувача імпульсів

Креслення друкованої плати класифікується як креслення деталі і повинно мати всю необхідну інформацію для виготовлення і контролю:

зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу; розміри, граничні відхилення і шорсткість поверхонь плати і отворів, а також розміри між ними; необхідні технічні вимоги; дані про матеріал плати тощо [6].

Розробку креслення друкованої плати починають з нанесення координатної сітки, за основний крок якої приймається крок розміром 2,5 мм.

Центри всіх отворів на друкованій платі повинні розміщуватись у вузлах координатної сітки. Якщо цього не вдається досягнути, то центри отворів розміщують згідно додаткових вказівок на кресленні.

Але перед тим, як здійснювати розведення, необхідно дізнатись про усі геометричні розміри електричних елементів, з тим щоб розрахувати необхідне поле для їх розміщення (дані шукаємо в спеціальних довідниках).

Для побудови друкованої плати з таблиці стандартних розмірів друкованих плат вибираємо потрібний нам розмір. В даному випадку плата розміром 60x75. Плату креслимо в масштабі 2,5:1.

Так як діаметри виводів елементів різні, то і діаметри отворів для них будуть різними, тому на кресленні позначаємо отвори різних діаметрів іншими умовними позначеннями. При виконанні отворів на полі креслення плати розміщуємо таблицю отворів (в таблиці вказуємо кількість однотипних отворів, їх діаметри і наявність металізації) [12].

Після цього наносимо позначення елементів (аналогічно, як і в електричній принциповій схемі), координати сітки і габаритні розміри плати.

Креслення представлено на МР.МТТм -05.02.02.001.

Складального креслення друкованої плати при мінімальній кількості зображень повинно давати повну уяву про розміщення і кріплення всіх покупних навісних елементів і деталей. Конструкції покупних елементів показують у вигляді спрощених зображень, їм присвоюють буквено-цифрове позначення у відповідності з електричною принциповою схемою.

Далі будуємо всі необхідні елементи в загальному виді (попередньо з довідників визначивши їх габаритні розміри). Після цього проставляємо

необхідні розміри (довжину, ширину і товщину плати) і будуємо вид збоку. Вид збоку передбачає зображення елементів першого крайнього ряду, а також найвищого елемента на платі з зазначенням висоти складального креслення саме по його розміру [5].

На складальному кресленні друкованої плати також вказуємо номери позицій всіх складових частин. Креслення представлено в МР.МТТ_м -05.02.02.000 СК.

2.5 Розробка електричної принципової схеми

Електрична принципова схема установки представлена в МР.МТТ_м -05.01.00.00 ЕЗ. Розглянемо принцип її роботи.

Схема живиться напругою 9В, яка поступає з блоку живлення А1. Оскільки для надійної роботи вузлів і елементів електричної схеми необхідне стабілізоване живлення, тому блок живлення вибираємо за компенсаційною схемою, яка забезпечує високий коефіцієнт стабілізації.

Компенсаційний стабілізатор з безперервним способом регулювання являє собою замкнуту систему автоматичного регулювання вихідної напруги при впливі різних факторів, що збурюють, (зміна живильної напруги, навантаження, температури навколишнього середовища й ін.), у якій вихідна напруга підтримується постійним за рахунок зміни спадання напруги на регулюючому елементі. Стабілізатори напруги з безперервним способом регулювання можуть бути виконані як з послідовним, так і з рівнобіжним включенням регулюючого елемента щодо навантаження (відповідно послідовного і паралельного типу).

Як регулюючий елемент схеми звичайно 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 інакше називають лінійними стабілізаторами напруги [8].

У ланцюзі ООС стабілізаторів напруги обох типів відбувається безперервне автоматичне порівняння вихідної напруги (чи частини його) з опорною напругою; сигнал помилки підсилюється і використовується для керування регулюючим елементом (транзистором) так, щоб зменшити цю помилку.

У стабілізаторах напруги постійного струму послідовного типу сталість вихідної напруги при впливі збуджуючих факторів забезпечується відповідною зміною падання напруги на регулюючому транзисторі. У стабілізаторах напруги паралельного типу сталість вихідної напруги забезпечується за рахунок зміни падіння напруги на баластовому резисторі, включеному послідовно з навантаженням, при зміні струму, що протікає через регулюючий транзистор (рисунок 2.3).

У компенсаційних стабілізаторах постійної напруги відбувається порівняння фактичної величини вихідної напруги з її заданим значенням і, якщо існує різниця в значеннях цих напруг, то в залежності від її величини і знаку здійснюється коректуюча дія на елементи керування стабілізатора, яка призводить до зменшення цієї різниці [12].

Вихідні дані:

- значення вихідної напруги $U_n = 9 \text{ В}$;
- струм навантаження $I_n = 0,5 \text{ А}$;
- нестабільність вихідної напруги внаслідок зміни напруги джерела живлення $\delta U_n < \pm 3\%$;
- зміна напруги живлення в процесі роботи $\delta U_n = \pm 10\%$;
- діапазон вихідної напруги від $U_{n \text{ мін}} = 7,5 \text{ В}$ до $U_{n \text{ макс}} = 9 \text{ В}$.

Задано мінімальним значенням колекторної напруги регулюючого транзистора $U_{KE \text{ мін}}$ при умові, що транзистор складений з двох біполярних і що середнє значення напруги емітер-база і колектор-емітер потужних кремнієвих транзисторів рівні:

$$U_{EB} = 2,5 \div 3 \text{ В}; U_{KE} = 1,5 \div 2,5 \text{ В}$$

$$\text{Тоді } U_{KE \text{ мін}} = U_{EB \text{ макс}} + U_{KE \text{ макс}} = 3 + 2,5 = 5,5 \text{ В}$$

Мінімальна напруга живлення на вході стабілізатора

$$U_{п.мін} = U_{н.макс} + U_{КЕмін} = 9 + 5.5 = 14.5 \text{ В.}$$

Номінальне і максимальне значення напруги живлення:

$$U_n = \frac{U_{н.мін}}{1 - \frac{\delta U_n}{100}} = \frac{14.5}{1 - \frac{10}{100}} = 16.2 \text{ В} \quad (2.21)$$

$$U_{н.макс} = U_n \left(1 + \frac{\delta U_n}{100}\right) = 16.2 \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 17.9 \text{ В} \quad (2.22)$$

Граничні робочі режими регулюючого транзистора:

$$I_{K1\text{гран}} \approx I_n = 0,5 \text{ А};$$

$$U_{КЕ\text{гран}} = U_{н.макс} - U_{н.мін} = 17,9 - 7,5 = 10,4 \text{ В};$$

$$P_{K1\text{гран}} = U_{КЕ\text{гран}} \cdot I_{K1\text{гран}} = 12,4 \cdot 0,5 = 6,2 \text{ Вт.}$$

По отриманих значеннях згідно [7] вибираємо в якості регулюючого транзистора VT5 кремнієвий транзистор П702 n-p-n типу з параметрами :

$I_{К\text{макс}} = 2 \text{ А}$; $U_{КЕ\text{макс}} = 60 \text{ В}$; $I_{Б\text{макс}} = 0,5 \text{ А}$; $P_{К\text{макс}} = 40 \text{ Вт}$ (до $+50^\circ\text{C}$); $h_{21E} > 25$ (при $+20^\circ\text{C}$); $I_{КБ0} = 5 \text{ мА}$; $R_T = 2,5 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$.

Задаємось допустимим перегрівом корпусу транзистора, враховуючи, що $T_{кор.макс} = +120^\circ\text{C}$, $\Delta T_{кор} = +20^\circ\text{C}$ (при температурі навколишнього середовища $+60^\circ\text{C}$), $T_{кор} = 60 + 20 = 80^\circ\text{C}$.

Максимальна допустима потужність, що розсіюється на регулюючому транзисторі, в такому випадку рівна:

$$P_{K5} = \frac{150 - T_{кор}}{R_T} = \frac{150 - 80}{2.5} = 28 \text{ Вт} \quad (2.23)$$

Оскільки $P_K > P_{K1\text{гран}} = 6,2 \text{ Вт}$, то вибраний тип транзистора може бути використаний як регулюючий транзистор.

Задаємо струм через резистор R10 з умови $I_B > I_{КБ0} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$, тоді струм колектора транзистора VT4

$$I_{K4} \approx I_{E4} = I_B + \frac{I_{K5}}{h_{21E5\text{мін}}} = 5 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{25} = 0,045 \text{ А} \quad (2.24)$$

Граничні робочі значення колекторної напруги і розсіяної потужності транзистора

$$U_{КЕ4\text{гран}} = U_{КЕ\text{гран}} - U_{ЕБ5\text{мін}} = 10,4 - 2,5 = 7,9 \text{ В};$$

$$P_{K4\text{гран}} = U_{КЕ3\text{гран}} \cdot I_{K4\text{гран}} = 7,9 \cdot 0,045 = 0,36 \text{ Вт.}$$

По отриманих значеннях згідно [7] вибираємо в якості транзистора VT4 кремнієвий транзистор КТ610Б n-p-n типу з параметрами:

$I_{K \text{ макс}}=0,3 \text{ А}$; $U_{K \text{ Е макс}}=20 \text{ В}$; $P_{K \text{ макс}}=1,5 \text{ Вт}$ (при $T_{\text{кор}}= +50^{\circ}\text{C}$);
 $h_{21E} = 20 \div 300$.

Базовий струм транзистора VT4

$$I_{B4 \text{ гран}} = \frac{I_{K4}}{h_{21E \text{ гран}4 \text{ мін}}} = \frac{0,045}{20} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (2.25)$$

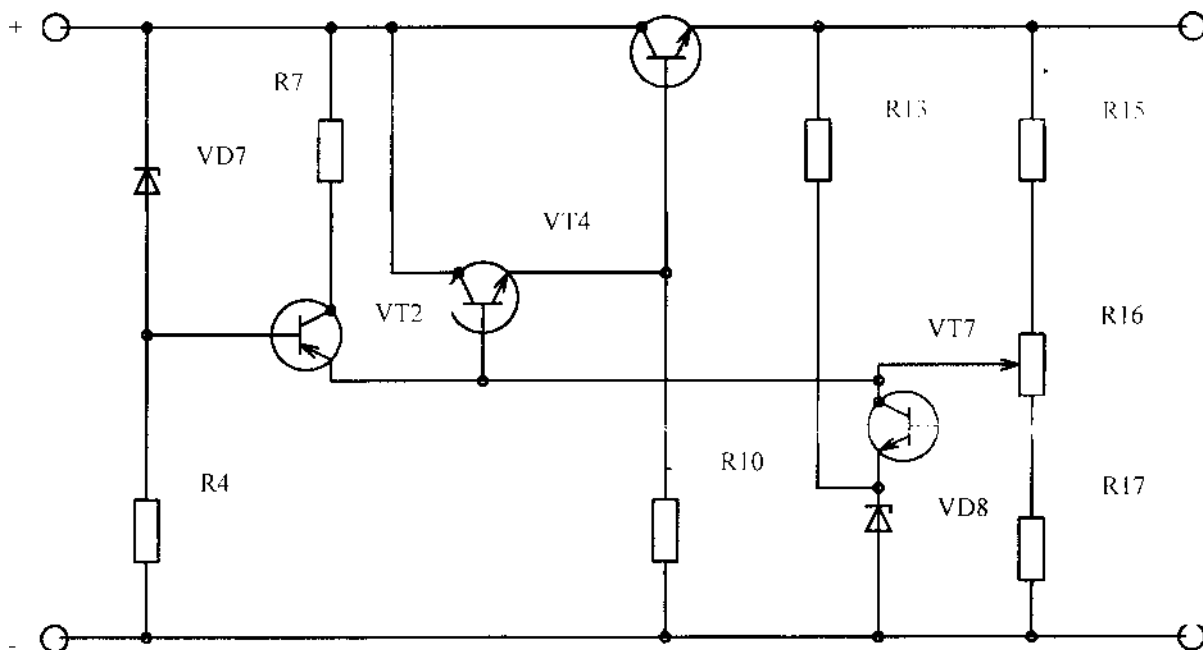


Рисунок 2.3 – Компенсаційний стабілізатор напруги з неперервним регулюванням

Опір резистора

$$R_6 = \frac{U_{н. \text{ мін}} - U_{EБ5 \text{ макс}}}{I_R} = \frac{7,5 - 3}{5 \cdot 10^{-3}} = 820 \text{ Ом} \quad (2.26)$$

тут значення $U_{EБ1 \text{ макс}}$ усереднене, оскільки в довідниковій літературі воно відсутнє.

Потужність розсіювана в резисторі R6

$$P_{R10} = \frac{(U_{н. \text{ макс}} - U_{EБ \text{ мін}})^2}{R_{10}} = \frac{(9 - 3)^2}{820} = 0,05 \text{ Вт} \quad (2.27)$$

Вибираємо резистор МЛТ-0,25 опором 820 Ом.

В якості джерела опорної напруги, згідно [7] вибираємо кремнієвий

стабілітрон типу Д815Б з параметрами: $U_{ст1}=6,8 \text{ В} \pm 15\%$; $\alpha_{ст}=0,002\%/^{\circ}\text{C}$; $I_{ст.мін}=50 \text{ мА}$; $I_{ст.макс}=1150 \text{ мА}$; $r_{ст}=1,2 \text{ Ом}$ (при $I_{ст}=10 \text{ мА}$).

$U_{КЕ7гран} = U_{н.макс} - U_{ст1.мін} + U_{ЕБ1макс} = 9 - 6,6 + 3 + 3 = 8,2 \text{ В}$. Задаємо робочий колекторний струм транзистора VT7: $I_{К7} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

В якості транзистора VT7 вибираємо, згідно [7] кремнієвий транзистор КТ301Е n-p-n типу з параметрами: $I_{К макс}=10 \text{ мА}$; $U_{КЕмакс}=20 \text{ В}$; $P_{Кмакс}=150 \text{ мВт}$; $h_{21E} = 40 \div 120$; $U_{ЕБнас} < 2,5 \text{ В}$.

Визначаємо колекторний струм і і напругу транзистора VT2:

$$I_{К2} = I_{Б5} + I_{К7} = 2,2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ А};$$

$$U_{КЕ2гран} \approx U_{н.макс} - U_{КЕ7гран} - U_{ст.мін} = 17,9 - 8,2 - 5,9 = 3,8 \text{ В}.$$

В якості транзистора VT2 вибираємо кремнієвий транзистор КТ201В p-n-p типу з параметрами: $I_{К макс}=20 \text{ мА}$; $U_{КЕмакс}=10 \text{ В}$; $P_{Кмакс}=150 \text{ мВт}$; $h_{21E} = 30 \div 90$; $U_{ЕБнас} < 1 \text{ В}$.

Визначаємо базові струми транзисторів VT7 і VT2:

$$I_{Б7гран} = \frac{I_{К7}}{h_{21E7мін}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{40} = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (2.28)$$

$$I_{Б2гран} = \frac{I_{К2}}{h_{21E2мін}} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{30} = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (2.29)$$

Задаємо мінімальний робочий струм стабілізації стабілітрона VD7 $I_{ст.мін} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ А} > I_{ст.мін}$ і знаходимо опір резистора R13:

$$R_{13} = \frac{U_{н.мін} - U_{ст1макс}}{I_{ст.мін}} = \frac{7,5 - 7,1}{8 \cdot 10^{-3}} = 68 \text{ Ом} \quad (2.30)$$

$$R_{13} = \frac{(U_{н.макс} - U_{ст1мін})^2}{R_{13}} = \frac{(9 - 5,9)^2}{68} = 0,14 \text{ Ом} \quad (2.31)$$

Вибираємо резистор R13 типу МЛТ-0,25 опором 68 Ом.

В якості опорної напруги струмостабілізуючого двополюсника беремо, згідно [7] стабілітрон VD8 типу КС 133А з параметрами:

$U_{ст2}=3,3 \text{ В} \pm 10\%$; $\alpha_{ст}=0,05\%/^{\circ}\text{C}$; $I_{ст.мін}=3 \text{ мА}$; $I_{ст.макс}=81 \text{ мА}$; $r_{ст}=65 \text{ Ом}$ (при $I_{ст}=10 \text{ мА}$). Задаємо струм через цей стабілітрон $I''_{ст.мін} = 10 \text{ мА}$.

Для забезпечення даного струму резистор R4 повинен мати опір

$$R_4 = \frac{U_{н.мін} - U_{ст2макс}}{I''_{ст.мін}} = \frac{14,5 - 3,63}{10 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.32)$$

$$R_4 = \frac{(U_{н.макс} - U_{ст2мін})^2}{R_4} = \frac{(17,9 - 3,0)^2}{1,2 \cdot 10^3} = 0,18 \text{ Ом} \quad (2.33)$$

Вибираємо резистор R4 типу МЛТ-0,25 опором 1,2 кОм.

Опір резистора

$$R7 = \frac{U_{ст2,мін} - U_{ЕБ2,макс}}{I_{Б2} + I_{К2}} = \frac{3.0 - 1.0}{(0.12 + 3.7) \cdot 10^{-3}} = 510 \text{ Ом} \quad (2.34)$$

$$R7 = \frac{(U_{ст2,макс} - U_{ЕБ2,мін})^2}{R7} = \frac{(3.63 - 0.8)^2}{510} = 0.015 \text{ Вт} \quad (2.35)$$

Вибираємо резистор R7 типу МЛТ-0,125 опором 510 Ом.

Задаємо мінімальний струм $I_{д,мін}$ через подільовач напруги R15, R16,

R17

з умови $I_{Б7,макс} < I_{д,мін} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

$$R_{VD8} + R16 + R17 = \frac{U_{н,мін}}{I_{д,мін}} = \frac{7.5}{5 \cdot 10^{-3}} = 1.5 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.36)$$

Опір окремих резисторів подільника напруги,

$$R17 = \frac{U_{ст1,мін} - U_{ЕБ7,макс}}{I_{д,мін}} = \frac{5.9 - 3.63}{5 \cdot 10^{-3}} = 670 \text{ Ом} \quad (2.37)$$

$$R16 + R17 = \frac{U_{ст1,макс} - U_{ЕБ7,мін}}{I_{д,мін}} = \frac{7.1 - 0.8}{5 \cdot 10^{-3}} = 1200 \text{ Ом} \quad (2.38)$$

$$R17 = 1200 - 670 \approx 510 \text{ Ом}; R15 = 1500 - 670 - 510 \approx 320 \text{ Ом}.$$

Загальна потужність, що розсіюється на подільнику напруги,

$$P_{R15} = \frac{U_{н,макс}^2}{R15 + R16 + R17} = \frac{9^2}{1500} = 0.06 \text{ Вт} \quad (2.39)$$

Вибираємо резистори типу МЛТ-0,125: R15=320 Ом, R17=510 Ом,

R16=670 Ом.

Всі резистори схеми вибираються з мінімальними для резисторів МЛТ відхиленнями від номіналу, рівними $\pm 5\%$.

Для визначення ККД стабілізатора знайдемо сумарні втрати потужності в схемі стабілізатора напруги:

$$\sum P_{втр} = P_{К5} + P_{К4} + P_{К7} + P_{К2} + P_{VD7} + P_{R10} + P_{К5} + P_{R_{ст1}} + P_{R_{ст2}} + P_{R7} + P_{R_{д}} \quad (2.40)$$

$$\sum P_{втр} = 16,2 + 0,36 + 6,2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 1,9 \cdot 3,7 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 8 \cdot 10^{-3} + 3,3 \cdot 10^{-3} + 0,05 + 0,14 + 0,18 + 0,015 + 0,06 = 17,1 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт корисної дії стабілізатора (мінімальне значення)

$$\eta = \frac{P_{н} \cdot 100}{P_{н} + \sum P_{втр}} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 100}{(20 \cdot 1) + 17,1} \approx 54\% \quad (2.41)$$

Для обчислення коефіцієнта стабілізації схеми знайдемо допоміжні величини (значення гк, гб, ге визначаються по відповідним вольт-амперним характеристикам транзисторів):

$$n_{д} = \frac{R_{nm} + R_{VD7}}{R15 + R16 + R17} = \frac{670 + 510}{320 + 670 + 510} = 0.78 \quad (2.42)$$

$$\frac{1}{R'_K} \approx \frac{r_{cm2}}{R_{13}R_7} = \frac{65}{1200 \cdot 510} = 1.1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\Omega} \quad (2.43)$$

Для регулюючого транзистора

$$r'_{K5} = \frac{r_{K5min} r_{K4min}}{r_{K5min} + \frac{r_{K4min}}{h_{21E4}}} = \frac{300 \cdot 500}{300 + \frac{500}{(20 \div 300)}} = (460 \div 500) \Omega \quad (2.44)$$

$$\frac{1}{r_{K5}} = (20 \div 21.5) \cdot 10^{-4}$$

$$r_{ex2} \approx r_{e2} + \frac{r_{\beta 2}}{h_{21E4}} = 17 + \frac{600}{(40 \div 120)} = (20 \div 35) \Omega \quad (2.45)$$

$$A' = 1 + \frac{r_{cm1}}{r_{ex2}} + \frac{(R_{15} + R_{16} + R_{17})(1 - n_D)n_D}{r_{ex2} h_{21E4}} = 1 + \frac{1.2}{(20 \div 35)} + \frac{1500 \cdot (1 - 0.535) \cdot 0.535}{(20 \div 35) \cdot (20 \div 60)} = 1.52 \div$$

3.25 (2.46)

Найменший можливий коефіцієнт стабілізації

$$K_{cm(U)} = \frac{U_n}{U_n} \cdot \frac{n_D}{A' \cdot r_{ex2} \cdot \left(\frac{1}{r_{K5}} + \frac{1}{R_{7K}} \right)} = \frac{17.2 \cdot 0.535 \cdot 10^4}{9 \cdot 3.25 \cdot 20 \cdot (21.5 + 0.58)} = 4.2 \quad (2.47)$$

Температурне відхилення вихідної напруги стабілізатора

$$\Delta U_M(T) \approx \text{аст} \cdot \Delta T_{cp} = \pm 0,002 \cdot 40 = \pm 0,08\%$$

Загальна нестабільність вихідної напруги

$$\delta U_n = \delta U_{n(U)} + \delta U_{n(T)} = \frac{\delta U_n}{K_{cm(U)}} + \delta U_{M(T)} = \frac{\pm 10}{4.2} \pm 0.08 = 2.4\% \quad (2.48)$$

тобто схема розрахована правильно.

Починає працювати схема при вмиканні живлення перемикачем SA1. Спрацювання реле в апараті РАП150, яке дає дозвіл на початок просвічування, здійснюється при виконанні наступних умов, а саме подачею сигналів на мікросхему DD4.2 (K176JA9) після: ввімкнення захисного екрану - перемикач SA2, ввімкнення насоса для охолодження рентгенівської трубки 0,ЗБПВ Б-150 — перемикач SA3, ввімкнення розігріву катода - перемикач SA4, ввімкнення вузла переміщення - перемикач SA5. Останній запускається пускачем KM1, який вмикає асинхронний трьохфазний двигун M2. Якщо виконуються всі чотири умови, сигнал з мікросхеми DD4.2 потрапляє на формувач імпульсів DD7 (побудований на основі мікросхеми K176JA7), який в свою чергу вмикає тригер DD12.1. Сигнал з тригера потрапляє на схему співпадіння DD8.3, яка пропускає перший сигнал після натискання оператором кнопки “Пуск” - SB1.

Пройшовший сигнал вмикає тригер DDD12.3, який дає остаточний дозвіл на вмикання апарату.

В процесі випромінювання починає працювати схема дозиметра - АЗ.

Пристрій детектування випромінювання складається з двох газорозрядних лічильників VD1 і VD2 типу СБМ20, включених паралельно, по імпульсній схемі, і коректуючих фільтрів. Пристрій керування перетворює сигнали, що поступили на протязі інтервалу часу вимірювання від пристрою детектування, в імпульси стандартної амплітуди і тривалості і передає їх на лічильник імпульсів. Лічильник імпульсів призначений для підрахунку імпульсів за інтервали часу випромінювання і індикації результатів підрахунку на семисегментному індикаторі. Працює схема за таким принципом.

При включенні живлення тригер DD11 формує імпульс скидання лічильників DD18-DD21, який встановлює їх в нульове положення. Часові інтервали вимірювання задаються таймером і подільником частоти на мікросхемі DD13. Імпульси з частотою $(0,5 \pm 0,1)$ імп./с таймера керують генератором виконаним на елементі DD14.2. З виходу генератора сигнали прямокутної форми через транзистор VT11 поступають на трансформатор TV2 і далі, обмежені по амплітуді стабілітронами VD 14 і VD15, на помножувач напруги зібраний на елементах C13-C16, VD17-VD20. З виходу помножувача напруги постійного струму, рівним 400В, через струмообмежувальні резистори R36-R39 подається на катоди газорозрядних лічильників VD1, VD2. При попаданні в робочий об'єм лічильників іонізуючих частинок з'являються імпульси, частота появи яких пропорційна потужності еквівалентної дози. Імпульси лічильників, обмежені по амплітуді, поступають на перший вхід елемента DD14.3. З виходу даного елемента імпульси, що поступили за час інтервалу випромінювання, подаються на лічильник імпульсів, зібраний на елементах DD18-DD21, а далі на індикатори – HL1-HL4. Також, з виходу елемента DD14.3 імпульси потрапляють на лічильники зібрані на елементах DD16, DD17, DD22, DD23. Виходи лічильників з'єднані з перемикачами SA8-SA11 в положенні, які фіксують наперед розраховану експозиційну дозу. Коли

на виході лічильника експозиційна доза досягне відповідного значення, схема співпадіння DD4.3 подасть сигнал на формувач імпульсів DD15, вихідний сигнал якого через елемент DD8.5 вимкне тригер DD12.3 після чого процес випромінювання призупиниться. Також, з елемента DD15 сигнал потрапить на тригер DD12.2, який в свою чергу дасть дозвіл на включення силового блоку А4. Тиристорний блок вмикає електродвигун М1, який повертає об'єкт контролю на відповідний кут. Необхідний кут повороту контролюється лічильником зібраним на елементах DD1-DD3 (А2). Лічильник підраховує кількість обертів двигуна, які в свою чергу реєструються оптопарою побудованою на діодах VD1- світодіод, VD2 - фотодіод. Дані елементи перетворюють світловий імпульс в електричний сигнал. Виходи лічильника з'єднані перемичками П1-П3, які фіксують необхідне значення і при досягненні яких спрацьовує елемент DD4.1. Сигнал з останнього потрапляє на формувач імпульсів 0010, який вмикає тригер. Даний тригер подає сигнал на формувач імпульсів DD6 після якого знову спрацьовує елемент DD8.3 і процес повторюється. Даний цикл контролюється лічильником DD5, який приймає сигнали з формувача імпульсів DD15 після кожного вимкнення процесу просвічування. З приходом сьомого імпульсу, сигнал з лічильника потрапляє на тригер DD12.1, який і призупиняє роботу.

2.6 Розробка методики проведення контролю

Методика проведення контролю циліндрів гідросистем зводиться до наступних операцій.

Спершу необхідно підготувати об'єкт контролю до просвічування. Підготовка виробу до просвічування полягає в його попередньому очищенні від шлаку, масел, бруду і т.п. Всі зовнішні дефекти повинні бути по можливості усунуті, тому що їх зображення на знімках може перешкодити виявленню внутрішніх дефектів [3].

Провівши візуальний контроль, необхідно помітити усі місця, які на знімку можуть сприйнятися як дефекти. Зареєструвати виявлені дефекти

необхідно з вказанням їх координат. Другий крок - проведення капілярного контролю з метою виявлення зовнішніх дефектів, і наявність яких може усунути потребу в подальшому просвічуванні (якщо дефект більший за допустимі норми, виріб одразу відбраковується).

Далі, піднявши ОК за допомогою тельфера (дивись МР.МТТм-05.01.00.003), направляємо його до установки, на якій об'єкт закріплюємо на кулачки самоцентруючого патрона. Наступний крок полягає в встановленні на зовнішній поверхні об'єкта контролю рентгенівської плівки та маркувальних знаків, закріплених гумовим поясом. Розміри свинцевих знаків вибираються відповідно до товщини ОК і розміщують безпосередньо на касеті в спеціально відведених для цього кишеньках. Після просвічування їх зображення відбивається на знімку. Передбачено канавкові, пластинчасті і дротяні еталони чутливості. Канавковий еталон має 6 канавок різної глибини. Дротяний еталон являє собою пластиковий чохол з встановленими в ньому 7 дротинами, діаметри яких відрізняються один від другого в 1,25 раза. Матеріал еталону чи його дротин повинен бути аналогічний до матеріалу ОК [3, 5].

Подальше керування процесом, з метою захисту від розсіяного рентгенівського випромінювання, проводиться з операторної і складається з таких етапів:

- встановлення за допомогою системи приводу сталюого захисного екрану на вході в лабораторію просвічування;
- ввімкнення насоса для циркуляції охолоджувальної рідини у випромінювачі для відводу тепла від анода рентгенівської трубки;
- ввімкнення розжарення катода;
- подача випромінювача;
- натискання кнопки "Пуск", після чого наступні операції виконуються автоматично.

Після останнього просвічування всі вузли, які знаходяться під напругою слід вимкнути, після чого з ОК знімається плівка і процес повторюється. Плівка для обробки віддається в лабораторію і розшифровується з подальшим

заключенням про відповідність ОК вимогам нормативно технічної документації.

Наступний крок - проявлення і розшифрування отриманих знімків.

На ефективність розшифрування радіографічних знімків значною мірою впливають: форма, товщина, щільність матеріалу, орієнтація найбільш ймовірних типів дефектів, характеристики негатоскопа: яскравість фону, щільність перешкод і помилкових сигналів, а також особисті дані оператора: гострота зору, тренуваність, мотивування дій, стомлюваність, вік, інтелект, метод пошуку дефектів.

Гострота зору є істотним параметром для першого етапу трьохетапного процесу розшифрування: виявлення, упізнання, оцінки. Гострота зору

людини може змінюватися в залежності від фізіологічних факторів. Умови для перегляду знімків також мають важливе значення при розшифровці. М'яке освітлення краще за повну темряву. Крім того, повинен бути забезпечений легкий і швидкий доступ до денситометру, контрольних знімків, нормам, стандартам і технічним умовам [3].

Варто використовувати негатоскопи з регульованою яскравістю і розмірами освітленого поля. Екран негатоскопа повинен бути чистим і без поверхневих дефектів по обидва боки.

Зображення на рентгенівських плівках можна ефективно оцінювати за допомогою збільшувальних пристроїв: лупи з ціною поділки 0,1 мм і менше, збільшувача на штативі і т.п.

Розшифровувач повинний мати: воскові олівці, ручки, лінійки на прозорій основі, кишеньковий ліхтар для ідентифікації поверхонь плівок, рукавички, графіки, таблиці і т.п.

Перший етап перегляду плівки вимагає оцінку якості радіографічного зображення. Він включає визначення наступних факторів: чи містить знімок плями, смуги, забруднення й ушкодження емульсійного шару; чи є на знімку зображення обмежувальних міток, маркувальних знаків, еталона чутливості; чи в заданих межах знаходиться оптична щільність почорніння на знімку.

Наступний етап складається в оцінці якості об'єкта по знімку. Саме на цьому етапі індивідуальна гострота зору і досвід оператора, а також розуміння ним процесу одержання знімка стає домінуючими факторами.

Тому що око більш сприйнятливим до елементів зображення, що рухаються, невеликі рухи знімка допомагають виявляти дрібні деталі зображення. Розміщення плівки під кутом чи зміна кута зору підвищує контрастність малоконтрастних елементів зображення.

Чутливість контролю, визначена по зображенню еталона чутливості (мінімальна глибина канавки канавкового еталона чи мінімальний діаметр дроту дротового еталона, видимих на знімку), повинна задовольняти технічним вимогам на виріб.

Для вимірювання розмірів зображень тріщин, непроварів чи інших включень варто враховувати масштабування і використовувати:

- вимірювальні лінійки з ціною поділки 1,0 мм;
- вимірювальні лупи з десятикратним збільшенням і ціною поділки 0,1 мм;
- прозорі вимірювальні трафарети і шаблони.

Виміряні при розшифровці знімків розміри варто округляти до найближчих менших значень з ряду 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 і 4,0 мм чи найближчих цілих значень у міліметрах для виміряних розмірів більше 4,0 мм.

Для того, щоб знімок був інформативний щільність почорніння зображень контрольованої ділянки шва повинна бути не менш 1,5 і не більш 3,0 одиниць оптичної щільності, чутливість контролю, обумовлена по зображенню еталона повинна бути не менша половини променевого розміру мінімального дефекту, що повинний бути виявлений.

Артефакти і дефекти фотообробки, що впливають на результати розшифрування, повинні бути описані і відображені у висновку.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ

Основною задачею при проведенні неруйнівного контролю будь-яким методом є забезпечення точності та достовірності результатів контролю, тобто необхідно добитися, щоб прогнозовані результати завжди “справджувалися”. Чим відповідальнішим, дорожчим є об’єкт контролю, тим вищими є вимоги до достовірності проведення діагностики.

3.1 Роль метрологічного забезпечення засобів неруйнівного контролю в підвищенні якості продукції

Підвищення якості продукції залежить від ступеня метрологічного забезпечення виробництва. Низький рівень контрольних операцій, викликаний недостатньою або неправильно оціненою точністю вимірювань або недостатньою і нестабільною чутливістю засобів неруйнівного контролю приводить до зниження достовірності і репродуктивності отриманої інформації про контрольовані ознаки (параметри) продукції, що контролюється, що, як правило, приводить до зниження її якості.

Отже, для забезпечення отримання достовірної інформації внаслідок проведення контрольних операцій необхідно підвищувати якість метрологічного забезпечення засобів неруйнівного контролю, однією з форм якого є повірка засобів неруйнівного контролю. Саме повірка забезпечує постійну готовність парку засобів неруйнівного контролю до їх використання за призначенням.

Значення повірки засобів неруйнівного контролю виходить далеко за рамки підприємства (організації), якому вони належать. Забезпечуючи одноманітність засобів неруйнівного контролю в частині їх метрологічних характеристик, як одна з умов забезпечення єдності контролю у всіх ланках народного господарства країни, повірка забезпечує тим самим безперебійну і

безвідмовну взаємодію цих ланок, ефективне використання результатів їх роботи.

При повірці насамперед необхідно визначити відповідність технічних і метрологічних характеристик засобів неруйнівного контролю вимогам нормативно технічної документації.

Виходячи з області застосування засобів неруйнівного контролю нормативно технічну документацію поділяють на нормативно технічну документацію по повірці: засобів неруйнівного контролю, призначених для загального (міжвідомчого) застосування нестандартизованих засобів неруйнівного контролю, що виготовляються і що застосовуються на одному підприємстві [10].

У залежності від стану стандартизації технічних вимог до засобів неруйнівного контролю, що підлягають повірці, нормативно технічну документацію по повірці може бути розроблена у вигляді стандартів або методичних вказівок.

При повірці засобів неруйнівного контролю, призначених для загального застосування, нормативно технічною документацією є державні стандарти методика повірки або методичні вказівки Держстандарту по повірці. У разі відсутності державних стандартів або методичних вказівок Держстандарту по повірці засобів неруйнівного контролю, призначеної для застосування в одному відомстві, відомства можуть застосовувати свої методичні вказівки по повірці. Якщо є необхідність відобразити специфіку умов повірки засобів неруйнівного контролю, відомчі методичні вказівки застосовуються іноді і при наявності державних стандартів або методичних вказівок Держстандарту по повірці, але при умові дотримання основних вимог, встановлених в них.

Для повірки нестандартизованих засобів НК, які виготовляються і які застосовуються на одному підприємстві, використовують методичні вказівки по повірці, розроблені на підприємстві. Нормативно технічну документацію по повірці будь-якого рівня розробляють тільки в тому випадку, якщо засоби неруйнівного контролю, що повіряються забезпечені засобами повірки.

Розробку нових і перегляд діючих державних стандартів методик повірки і методичних вказівок по повірці здійснюють центри стандартизації і метрології Держстандарту по спеціалізації, а також організації-розробники засобів НК або головні (базові) організації метрологічних служб міністерства (відомства), що є розробниками засобів НК [11].

Методичні вказівки метрологічних інститутів по повірці розробляють організації, що представляють засоби НК на державні приймальні випробування. Методичні вказівки підприємств і відомчі по повірці розробляють організації-розробники засобів НК або головні (базові) організації метрологічних служб міністерств (відомств), відповідальні за ввезення засобів неруйнівного контролю в країну.

Нормативно технічна документацію по повірці будь-якого рівня (їх побудова, зміст і виклад) повинні відповідати вимогам стандартів [14-16]..

Порядок розробки, узгодження, затвердження, оформлення, реєстрації і видання відомчих методичних вказівок по повірці і методичних вказівок підприємства встановлюють міністерство (відомство), в яке входить організація - розробник нормативно технічної документації по повірці.

3.2 Методи повірки

Під методом повірки засобів вимірювань розуміється метод передачі розміру одиниці фізичної величини від вищестоящих в повірочній схемі засобів вимірювань нижчестоячим.

При проведенні повірки засобів неруйнівного контролю можуть застосовуватися наступні методи:

- безпосереднього (тобто без використання засобів порівняння) звірення засобів, що повіряється із зразковим засобом того ж виду (тобто міри з мірою або вимірювального приладу з вимірювальним приладом);
- звірення засобу, НК який повіряється, із зразковим засобом вимірювань того ж виду за допомогою компаратора (тобто за допомогою засобів порівняння);

- прямого вимірювання засобів НК повірюваної величини, яка відтворюється зразковою мірою;
- прямого вимірювання зразковим вимірювальним приладом величини репродукованої підданою повірці мірою;
- непрямого вимірювання, при якому шукане значення величини знаходять на основі відомої залежності між цією величиною і величинами, що підлягають прямим вимірюванням;
- незалежної повірки, тобто повірки відносних засобів вимірювань (безрозмірних); витримують повірювані засоби НК в умовах, де діють впливаючі величини; знімають мастила зі стандартних зразків; проводять
- екранування (у разі необхідності); перевіряють контактні з'єднання; освітленість; значення впливаючих величин (температури навколишнього середовища, напруги мережі живлення, вологості і т.д.); заземляють засобів неруйнівного контролю і засоби повірки; під'єднують приєднувальні пристрої; прогрівають засоби НК під струмом; проводять необхідні заходи щодо техніки безпеки і т.п [2].

При невеликому об'ємі робіт для проведення повірки і невеликій кількості вимог до умов її проведення вони можуть бути об'єднані в одному розділі „Умови повірки і підготовка до неї”.

Повірка засобів неруйнівного контролю складається із зовнішнього огляду, випробовування і визначення їх метрологічних параметрів.

При зовнішньому огляді засобів НК перевіряється: відповідність їх комплектній відомості; наявність написів про призначення кожного перемикача; позначення на шкалах приладів класу точності і одиниць фізичних величин; ціни поділок відлікових пристроїв; а також встановлюються дефекти елементів засобів НК і їх покриттів, при наявності яких за технічними умовами воно не може бути допущене до застосування і т.п.

На засобах НК повинні бути вказані: товарний знак або найменування підприємства-виробника; тип або позначення виробу; порядковий номер виробу за системою підприємства-виробника; рік випуску.

Іноді відповідно до вимог стандартів або технічних вимог на вироби конкретних груп і видів наносять додаткові знаки маркування.

Випробовування засобу НК проводять після зовнішнього огляду.

Операції випробовування можуть проводитися в залежності від вимог нормативно технічної документації з використанням або без використання зразкових засобів вимірювань і допоміжних засобів повірки, які застосовуються для повірки роботи повірюваного засобу неруйнівного контролю або дії і взаємодій його окремих частин і елементів. При випробовуванні більшості засобів НК використовуються стандартні зразки.

Випробовування засобів неруйнівного контролю звичайно полягає в перевірці: дії органів управління, регулювання і знаки; установки показчиків приладів на нуль при включенні і вимкненні живлення; вільного переміщення, фіксації або взаємодії окремих елементів; реакції приладів на дію органів управління; мертвого ходу і люфтів від суцільних елементів і т.п.

Як правило, при повірці засобів НК майже завжди перевіряють їх працездатність.

Визначення (контроль) метрологічних характеристик засобів неруйнівного контролю проводиться для встановлення відповідності їх значень номінальним в межах значень, що допускаються для них. Для цього в стандартах і інших нормативно технічних документах на повірку встановлюють найбільш раціональні методи визначення (контролю) метрологічних характеристик повірюваного засобу неруйнівного контролю і способи проведення експериментальних операцій.

У описі кожної операції, виділеної в окремий пункт, містяться необхідні для її виконання відомості: найменування і опис методу повірки; вказівки про засоби повірки; схеми підключення і креслення (з поясненнями в тексті); вказівки про порядок виконання операцій; способи обробки результатів визначення (контролю) метрологічних характеристик із залученням необхідних формул, графіків, таблиць і т.п [14].

У багатьох випадках при проведенні операцій повірки необхідно записувати результати вимірювань у вигляді протоколу.

У кінці опису операції звичайно вказуються вимоги до допустимого значення визначуваної (контрольованої) метрологічної характеристики. Якщо вони приведені в нормативно технічній документації тієї ж або більш високої категорії, що розповсюджуються на повірювані засоби НК, то робиться тільки посилання на нього.

У розділ „Обробка результатів вимірювань” включається в нормативно технічній документації по повірці тільки при наявності складних способів обробки результатів вимірювань. У тому випадку, якщо способи обробки результатів вимірювань приведені в нормативно технічній документації тій же або більш високої категорії, то робиться тільки посилання на цей документ.

Оформлення результатів повірки. У цьому розділі, містяться вимоги до оформлення результатів повірок.

Позитивні результати повірки оформляються шляхом: клеймування повірюваних засобів НК (в нормативно технічній документації повинні бути вказані способи і місця клеймування); видачі свідоцтва про повірку (іноді при цьому проводиться і клеймування повірюваних засобів неруйнівного контролю); записи в паспорті величин, що не вимагає передачі розмірів одиниць від еталонів або зразкових засобів вимірювань, проградуєваних в одиницях розмірних величин.

При проведенні повірки одним з вищезгаданих методів засоби НК повіряються, звичайно, як єдине ціле - в повному комплекті всіх його складових частин. Висновок про його придатність виноситься на основі визначення похибки засобів неруйнівного контролю загалом.

Іноді доцільно проводити повірку поелементно. Поелементною називають повірку засобів неруйнівного контролю шляхом визначення параметрів окремих його частин, які впливають на придатність засобу НК до використання.

У нормативно технічній документації на методики повірки засобів неруйнівного контролю крім вступної частини повинні міститися наступні розділи - операції повірки; засоби повірки, вимоги безпеки; умови повірки; підготовка до повірки; проведення повірки; обробка результатів вимірювань і оформлення результатів повірки. У обґрунтованих випадках допускається об'єднувати або виключати окремі розділи нормативно технічної документації по повірці.

У нормативно технічну документацію по повірці повинні включатися методи і засоби повірки, основані на сучасних досягненнях науки і техніки. Туди ж потрібно включати визначення (контроль) мінімуму метрологічних характеристик, достатнього для вирішення питання про придатність повірюваних засобів НК до застосування.

Після розділу „Засобу повірки” іноді включають розділ "Вимоги до кваліфікації повірювачів, якщо до них пред'являються особливі вимоги.

У вступній частині обов'язково вказується, на які засоби НК нормативно технічна документація розповсюджується і робиться посилання на документацію тієї ж або більш високої категорії, що регламентує технічні вимоги до цих засобів. У разі необхідності вказується, на які засоби вони не розповсюджуються.

У розділі "Операції повірки" перелік операцій вказується в тій послідовності, в якій найбільш доцільне їх виконання.

Засоби повірки. У нормативно технічній документації міститься перелік необхідних для проведення повірки зразкових і допоміжних засобів повірки.

До допоміжним відносяться: допоміжні засоби вимірювань і пристрої, матеріали і повірочне пристосування.

Для зразкових і допоміжних засобів повірки вказуються номери нормативно технічної документації, які регламентують технічні вимоги, розряди по державних повірочних схемах, якщо вони є, і (або) метрологічні і (або) основні технічні характеристики цих засобів.

Умови проведення повірки. При проведенні повірки засобів неруйнівного

контролю повинні дотримуватися нормальним умовам, які обумовлюються в нормативно технічній документації на методики повірки. У них вказується сукупність меж нормальних областей впливаючих величин, а при необхідності також і номінальні значення впливаючих величин. Під впливаючою фізичною величиною розуміється величина, яка не є такою, що вимірюється даним засобом вимірювань, але яка впливає на результати вимірювань цих засобів, тобто на його метрологічні характеристики. До них відносяться: температура, вологість і тиск навколишнього повітря; температура середовища, в якій проводиться повірка; частота і напруга струму живлення, вміст в ньому гармонік; вібрація і трясіння; магнітні і електромагнітні поля і т.д.

Нормальним значенням (нормальною областю значень) впливаючої величини є таке, яке встановлюється в стандартах або технічних умовах на засоби вимірювань даного виду як нормальне для цих засобів вимірювань.

Похибка засобу вимірювань, що використовується в нормальних умовах, є його основною похибкою.

Звичайно нормальними умовами для визначення основної похибки засобу вимірювань, який повіряється, вважаються умови, при яких складова похибки засобу вимірювань, який повіряється, від дії сукупності впливаючих величин не перевищує 35 % межі основної допустимої похибки повірюваного засобу вимірювань. У тих же випадках, коли неможливо або недоцільно забезпечити нормальні умови, дійсні значення або межі дійсних значень впливаючих величин потрібно фіксувати при вимірюваннях з метою приведення результатів вимірювання до нормальних умов або інформації про дійсні умови їх виконання.

Крім цих величин часто нормуються номінальні значення інших впливаючих величин. До таких величин можна, наприклад, віднести напругу живлення, максимальний коефіцієнт вмісту в ньому вищих гармонік, частоту змінного струму живлення і ін.

Майже у всіх випадках номінальні значення магнітної індукції (напруженість магнітного поля) і напруженість електростатичного нуля

відповідає характеристикам поля Землі в даному географічному районі (крім районів магнітних аномалій).

Крім нормальних умов застосування засобів неруйнівного контролю при проведенні їх повірки вводиться поняття робочої області значень впливаючої величини, під яким розуміється область значень впливаючої величини, та, що встановлюється в стандартах або технічних умовах на засоби неруйнівного контролю даного виду і в межах якої нормується додаткова похибка цих засобів. Зміна показів вимірювального приладу під дією впливаючої величини - це зміна похибки вимірювального приладу, викликана відхиленням однієї з впливаючих величин від нормального значення або виходом її за межі нормальної області значень.

3.3 Розрахунок чутливості проведення контролю

В промисловій радіографії основний показник якості виконаного знімка - це відносна чутливість, що визначається по зображенню еталонів чутливості. У практиці радіографії і радіоскопії застосовують декілька типів стандартизованих еталонів чутливості.

Залежність відносної чутливості від основних параметрів просвічування визначається рівнянням:

$$W_{\text{ВДН}} = \frac{4\delta}{\delta} \cdot 100\% = \frac{2.3\Delta D_{\text{мін}}B}{\gamma_D \mu \delta} \cdot 100\% = \frac{2.3 \cdot 0.007 \cdot 24}{4 \cdot 0.425 \cdot 10} = 2.08\% \quad (3.1)$$

де $\Delta D_{\text{мін}}$ - мінімальна різниця густини почорніння помітна оком (приладом), 0,007; B - дозовий фактор нагромадження випромінювання, 24 (рис. 1, МР.МТТм-02.01.00.002); γ_D - контрастність радіографічної плівки, 4 (Додаток Б); μ - лінійний коефіцієнт послаблення випромінювання, см-1; 0,425 см-1; δ - товщина виробу, мм; 10 мм.

Отриманий результат є прогнозованим. Теоретичне значення приведені на рис. 2 МР.МТТм-05.01.00.002.

Приведене рівняння справедливе при відсутності розмиття країв зображення дефекту. У реальних промислових умовах радіографії зображення дефекту завжди буває розмитим і характеризується загальною нерізкістю

зображення U . Вплив нерізкості приводить до того, що чутливість погіршується:

- для канавочного еталона

$$W_{\text{ВІД}} = \frac{2.3\Delta D_{\text{мін}}B}{\gamma_D\mu\delta} \left(1 + \frac{U}{\Delta b}\right) \cdot 100\% \quad (3.2)$$

- для дротяного еталона

$$W_{\text{ВІД}} = \frac{2.92\Delta D_{\text{мін}}B}{\gamma_D\mu\delta} \left(1 + \frac{U}{d}\right) \cdot 100\% \quad (3.3)$$

де Δb -ширина дефекту, а b -діаметр дротів еталонів чутливості, мм.

Приведені співвідношення дозволяють визначати в достатньому наближенні глибину мінімальної канавки: еталона, що імітує дефекти ступінчастої або прямокутної форми типу непроварів, розшарування і макротріщин, або діаметр дроту еталона, що імітує дефекти шаровидної або овальної форми типу пор, включень і ін.

Різниця щільності почорніння, що мінімально виявляється $\Delta D_{\text{мін}}$ між зображенням дефекту і основним фоном знімка визначається декількома чинниками, до яких відносяться міра досконалості ока оператора, яскравість екрану розшифрувального обладнання і умови розшифровки, а також розміри і форма зображення дефекту. Око є найбільш чутливим при яскравості більше за 30 кд/м^2 , в цих умовах можливо розрізнити різницю яскравості біля 0,14, що забезпечує виявлення мінімальної різниці щільності почорніння $\Delta D_{\text{мін}} = 0,006$. У загальному вигляді значення $\Delta D_{\text{мін}}$ при яскравості екрана расшифрувального обладнання 30 кд/м^2 знаходяться в межах від 0,006 до 0,02 (відстань від ока до екрана становить 25 см), причому менші значення відповідають великим дефектам і малим відношенням довжини дефекту до його ширини (до 20), а великі значення малим дефектам і великим відношенням довжини дефекту до його ширини (до 70) [3, 5].

Загальна нерізкість зображення визначається впливом декількох видів нерізкостей: геометричної, внутрішньої, нерізкості розсіювання і зміщення.

Геометрична нерізкість (рис. 3.1) визначається з співвідношення

$$U_{\Gamma} = da\delta / (F - \delta) \quad (3.4)$$

де d_a діаметр активної частини джерела.

Внутрішня нерізкість для гальмівного випромінювання і флуороскопічних екранів $U_S=0,1\div 0,5$ мм; для гальмівного випромінювання і екранів з РЬ $U_B=0,025\div 0,1$ мм; для у-випромінювання і екранів з РЬ $U_B=0,17\div 0,5$ мм. Значення U_B залежать від енергії випромінювання, зокрема для ^{192}Ir $U_B=0,17\div 0,20$ мм, для ^{137}Cs $U_B=0,27\div 0,3$ мм, для ^{60}Co $U_B=0,36\div 0,5$ мм. Нерізкість розсіювання рівна:

$$U_p = U_B \cdot g^\delta = 0,05 \cdot 1,25^1 = 0,0625 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

де δ - товщина просвічування, см; 1 см; g - коефіцієнт пропорційності; $g=1,25$; U_B - внутрішня нерізкість, мм; 0,05 мм.

Нерізкість зміщення, що визначається коливаннями джерела, об'єкта і детектора, в реальних умовах просвічування звичайно усувається внаслідок 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 канавкових еталонів чутливості і дефектів ступінчастого типу (непровари, тріщини і т.п.) [7]

$$U = 3 \sqrt{U_\Gamma^3 + U_B^3} \quad (3.6)$$

для дротяних еталонів чутливості і дефектів овального типу (пор, раковин і т.д.) [5]:

$$\begin{aligned} U &= U_\Gamma + \frac{U_B^2}{2U_\Gamma} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{2U_\Gamma}{U_B}\right) \right] = \\ &= 0,05 + \frac{0,05^2}{2 \cdot 0,05} \left[1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot 0,05}{0,05}\right) \right] = 0,26 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3,7)$$

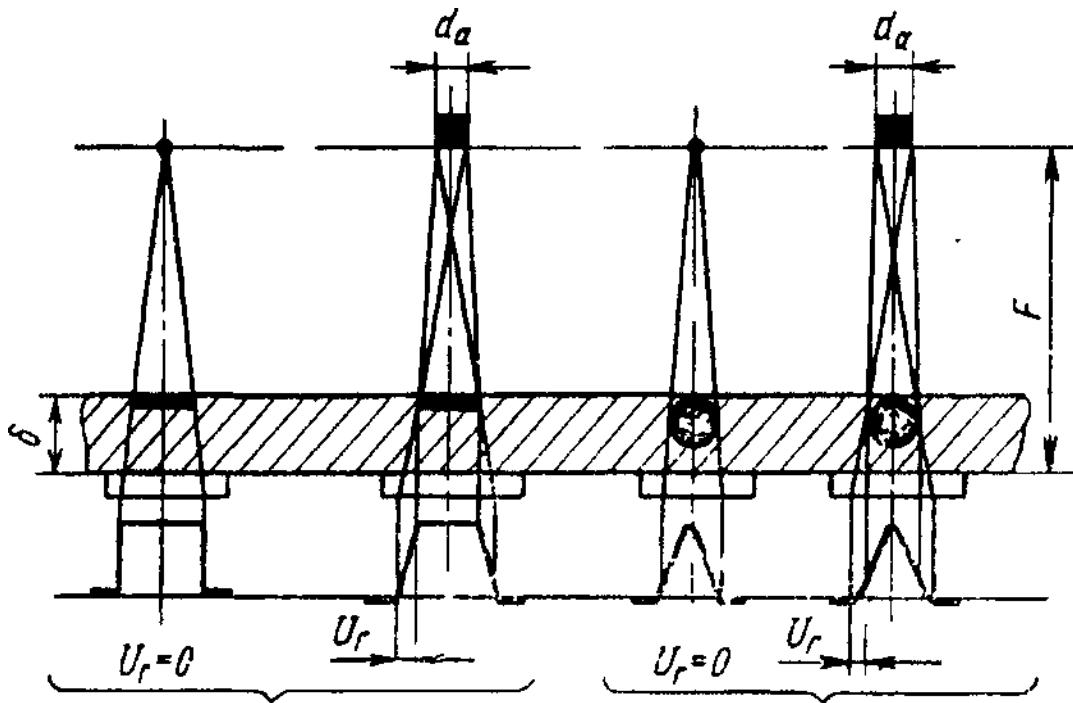


Рисунок 3.1- Схеми утворення геометричної нерізкості при дефектах ступінчастої і кулькової форми

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

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розглянуте питання автоматизованого проведення радіаційного контролю циліндрів гідроприводів. Оскільки традиційно процес контролю проходить “вручну”, продуктивність праці є порівняно низькою і це спричиняло простої на виробництві, цим впливаючи на собівартість продукції.

Розглянувши дану проблему, розроблено систему, яка автоматизувала такі етапи проведення контролю, як подача випромінювача, обертання об’єкта контролю, а також здійснив автоматичний відлік часу експозиції. Щоб захистити обслуговуючий персонал в розробці врахований момент блокування роботи при не спрацюванні захисного екрану від прямого і розсіяного рентгенівського випромінювання.

Дана магістерська робота містить 3 розділи. Перший розділ описує декілька методів, якими можна проводити контроль циліндрів. В ньому описані такі методи: акустичний, капілярний, вихрострумний метод. Також перший розділ містить аналіз переваг та недоліків існуючих методів і постановку задачі на магістерську роботу.

Другий розділ містить розробку автоматизованої системи контролю циліндрів гідроприводів. Для розробки даної системи я розробив конструкцію установки. Здійснено розрахунок режиму просвічування. Для здійснення обертового руху об’єкта контролю я розрахував передаточне число редуктора і розробив електричний блок, який керує даними обертами на строго визначений кут. Також в даному розділі я розробив методику проведення контролю циліндрів гідроприводів.

В третьому розділі міститься метрологічний аналіз проведення контролю. Зокрема були проаналізовані: чутливість проведення контролю, а також

величина нерізкості розсіювання і загальної нерізкості, від величини яких залежить ефективність контролю і достовірність інформативних показників.

Отже, аналізуючи вище сказане ми можемо однозначно сказати, що розроблена нами установка при використанні буде ефективною, як з точки зору продуктивності праці, безпеки праці, так із економічної сторони.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник.–К.: «Азимут-Україна», 2004.– 496 с.
2. Білокур І.П., Фірстов В.Г., Соснін Ф.Р. Радіаційний контроль - К.: НМКВО, 1992,— 180 с.
3. Троїцький В.А. Короткий посібник із контролю якості зварених з'єднань/ К.: ІЕЗім. Є.О.Патона, 1997 р.– 224 с.
4. Білокур І.П. Акустичний контроль. / І.П. Білокур - К.: Либідь.1999. -244 с.
5. Боднар Р. Т. Контроль проникаючими випромінюваннями і речовинами. Конспект лекцій. МВ 02070855-3128-2010. Івано-Франківськ: Вид. ІФНТУНГ.– 2010.– 262 с.
6. Кісіль І. С. Конструювання вимірювальних приладів: Навч. посібник.– Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 328 с.
7. Р.М. Терещук и др. Довідник радіолюбителя. - К.: Наукова думка, 1981.
8. Заболотний О.В., Марчук В.І., Караченцев В.Є. Проектування електронних пристроїв: навчальний посібник – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2018 – 360с.
9. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
10. І.С. Кісіль Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. - Івано-Франківськ: Факел ,2002.–320 с..
11. Г.В. Микитин. Основи метрології: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.–Львів: СПОЛОМ, 2008.- 296 с.
12. 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

13. Боднар Р.Т. Контроль проникаючими випромінюваннями і речовинами. Лабораторний практикум. м. Івано-Франківськ, видавництво ІФНТУНГ, 2020.– 125 с.

14. ДСТУ EN 584-1-2001 Неруйнівний контроль. Промислова радіографічна плівка. Частина 1. Класифікація плівкових систем для промислової радіографії (EN 584-1:1994, IDT)

15. 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)

16. 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

Довідникові дані для розрахунку режиму просвічування

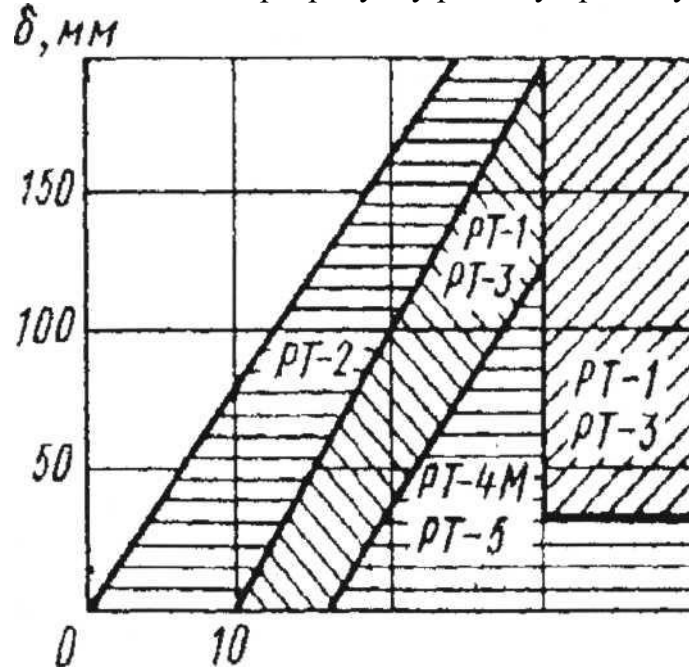


Рисунок А1 - Область використання радіографічних плівок при просвічуванні сталі

Таблиця А.1 - Область застосування радіографічного методу при використанні рентгенівських апаратів

Товщина просвічуваного металу, мм				Напруга на рентгенівській трубці
Залізо	Титан	Алюміній	Магній	
0,04	0,1	0,5	1,5	20
0,4	1	5	14	40
0,7	2	12	22	50
1	3	20	35	60
2	6	38	57	80
5	10	54	80	100
7	18	59	105	120
10	24	67	120	150
21	47	100	160	200
27	57	112	200	250
33	72	132	240	300
46	106	210	310	400
150	265	430	650	1000

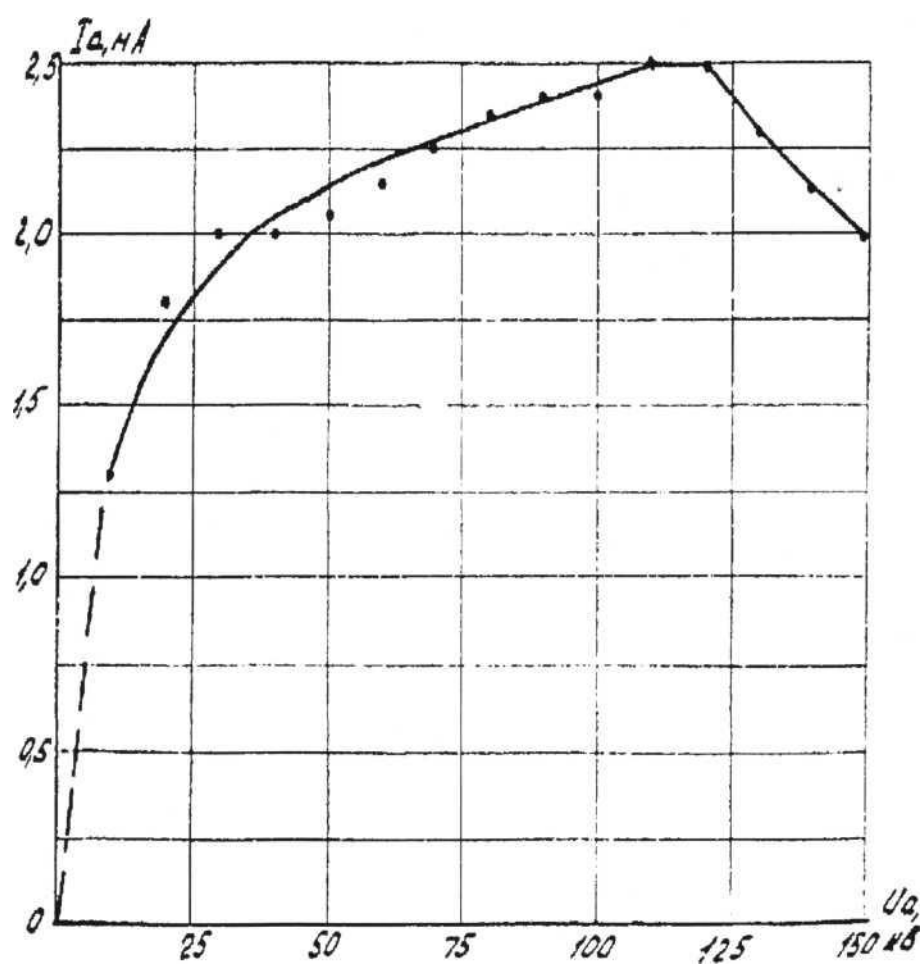


Рисунок А.2 - Залежність $I_a=f(U_a)$ для трубки 0,3БПВБ-150

Таблиця А.2 - Залежність нерізкості перетворення від енергії фотонного випромінювання

Енергія випромінюванн, кеВ, або тип джерела	Нерізкість _в , мм	
	Дрібнозерниста плівка	Крупнозерниста плівка
50	0,03	0,05
100	0,05	од
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	1,0	1,2
Іридій-192	0,13	0,2
Цезій-137	0,28	0,3
Кобальт-60	0,35	0,5

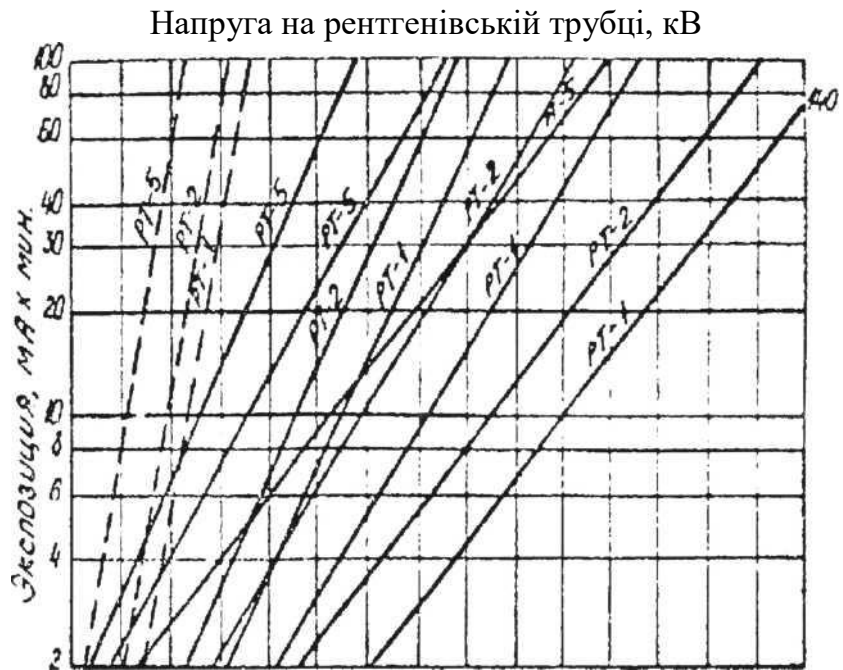


Рисунок А.3 – Номограма для визначення експозиції просвічування сплавів на основі заліза апаратом РАП-150/300 з трубкою 0,ЗБПВБ-150 на плівки РТ-1,РТ-2 і РТ-5 ($P=75$ см, $\theta=1,5$) (F - фокусна віддаль, см; D - оптична щільність знімка)

Таблиця А.3 - Коефіцієнт переходу к по часу просвічування при зміні варіанту зарядки касет і типу плівки

Варіант зарядки касет	РТ-1	РТ-2	РНТМ-1	РТ-4М	РТ-5
Без підсилюючого екрану	1	1,7	2	5	8,4
З металічним підсилюючим екраном при напрузі більше 100 кВ	0,5	0,8	1	2,5	4,2
З люмінесцентним екраном при напрузі 80 кВі часу просвічуванні до 100 с	0,5-0,22	0,04-0,015	1-0,43	2,5-1,1	4,2-1,8

Додаток Б

Таблиця Б.1 - Основні характеристики рентгенографічних плівок

Марка плівки	Коефіцієнт контрастності	Оптична щільність вуалі	Клас плівки
РТ-1	3,0	0,20	III
РНТМ-1	3,5	0,12	II
РТ-СШ	3,0	0,15	II
РТ-4М	3,5	0,10	II
РТ-5	4,0	0,10	I
РТ-2 (без екрана)	2,5	0,20	III
РТ-3 (з люмінесцентним екраном)	3,0	0,20	IV

