

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій та
енергетичного менеджменту

Манич Валерій Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.179

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення установки радіоскопічного контролю залізничної колії

(назва роботи)

(назва освітньої програми)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня Манич Валерій Вікторович

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Чуйко М. М., канд. техн. наук, доцент

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

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІВТЕМ

Доц. _____ Цих В. С.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

м. Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту
Освітній рівень перший бакалаврський
Спеціальність 152-Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІВТЕМ

В. С. Цих
« » 06. 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Манич Валерій Вікторович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1.Тема роботи: Розроблення установки радіоскопічного контролю залізничної колії

Керівник роботи Чуйко Мирослава Михайлівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «13»05. 2026року
№ 215/7

2. Строк подання студентом закінченого проекту (роботи) 15.06.2026 р.

3.Вихідні дані до проекту (роботи): об'єкт контролю – рейка залізничної колії; товщина об'єкту – 74 мм; процес контролю – неперервний

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): _аналіз методів контролю залізничної колії; теоретичне обґрунтування вибраного методу; розроблення структурної схеми установки; розроблення електричної принципової схеми установки ; метрологічний аналіз; розроблення заходів охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): _теоретичні основи методу (А1); схема функціональна (А1); схема електрична принципова (А1); конструкція блока просвічування (А1); _конструкція блока електронного (А1); схема технологічна установки (А1); вузол електронно-оптичного перетворювача (А1)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М.		

7. Дата видачі завдання_15.05.2026 р. _

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строки виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Аналіз методів контролю	15.05.26 –20.05.26	
	Теоретичне обґрунтування методу	20.05.26– 25.05.26	
	Розроблення структурної схеми установки	25.05.26– 26.05.26	
	Розроблення електричної принципової схеми установки	27.05.26– 30.05.26	
	Розроблення конструкції вузлів	30.05.26– 05.06.26	
	Метрологічний аналіз	05.06.26– 10.06.26	
	Розроблення заходів охорони праці	10.06.26– 15.06.26	

Здобувач освітнього ступеня _____ Манич В. В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Чуйко М. М. _.

(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота: 72 с., 7 рис., 5 табл., 1 додаток, 27 джерел,
8 аркушів креслення.

Об'єкт дослідження – залізнична колія.

Мета роботи – розробити автоматизовану систему радіоскопічного контролю залізничної колії.

Метод дослідження – просвічування гамма-променями.

У даній бакалаврській роботі проведено аналіз основних методів і приладів контролю залізничної колії.

На основі цих даних розроблено автоматизовану систему радіоскопічного контролю залізничної колії. Система дозволяє проводити дослідження під час руху вагона-лабораторії та записувати отриману оптичну інформацію.

Особливістю даної системи є її використання під час руху лабораторії, що не створюватиме проблем у розкладі руху поїздів по залізниці.

Наведені розрахунки безпеки для обслуговуючого персоналу та оточуючого середовища при введенні даного пристрою і його експлуатації.

ЗАЛІЗНИЦЯ, ГАММА-ДЕФЕКТОСКОП, ЕЛЕКТРОННО- ОПТИЧНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СВІТЛОПРОВІД, РЕЙКА, ГАММА-
ВИПРОМІНЮВАННЯ.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 72 p., 7 fig., 5 tab., 1 appendix, 27 sources,
8 sheets of drawings.

The object of the study is a railway track.

The purpose of the work is to develop an automated system for radioscopic control of a railway track.

The research method is gamma ray irradiation.

In this bachelor's thesis, an analysis of the main methods and devices for controlling a railway track is carried out.

Based on these data, an automated system for radioscopic control of a railway track is developed. The system allows conducting research during the movement of a laboratory car and recording the received optical information.

A feature of this system is its use during the movement of the laboratory, which will not create problems in the schedule of train movements on the railway.

Safety calculations for service personnel and the environment during the introduction of this device and its operation are presented.

RAILWAY, GAMMA DEFECTOSCOPE, ELECTRON-OPTICAL
CONVERTER, FIBERGUIDE, RAIL, GAMMA RADIATION.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз методів і постановка задачі на бакалаврську роботу	8
1.1 Аналіз існуючих методів контролю залізничної колії	9
1.1.1 Вихрострумний метод контролю залізничних рейок	9
1.1.2 Ультразвуковий метод контролю залізничних рейок	13
1.1.3 Візуально-оптичний метод контролю залізничних рейок	15
1.1.4 Тепловий метод контролю залізничних рейок	18
1.1.5 Радіаційний метод контролю залізничних рейок	19
1.2 Постановка задачі на бакалаврську роботу	22
2 Розробка системи автоматизованого контролю радіоскопічного контролю залізничної колії	25
2.1 Теоретичні основи радіаційного методу контролю	25
2.1.1 Суть контролю проникаючими випромінюваннями	25
2.1.2 Основні одиниці вимірювання іонізуючих випромінювань	26
2.1.3 Характеристики радіоізотопних джерел проникаючого випромінювання	33
2.2 Розроблення методики проведення контролю	38
2.3 Розробка конструкції системи радіоскопічного контролю залізничної колії	43
2.3.1 Опис структурної схеми	43
2.3.2 Опис конструкції установки радіоскопічного контролю залізничної колії	45
2.4 Розрахунок радіатора регулюючого транзистора блоку живлення	46
2.6 Розрахунок об'єктива вузла електронно-оптичного перетворювача	50
2.7 Розробка креслення плати блоку живлення	52

2.8 Розробка складального креслення блоку живлення	53
3 Метрологічний аналіз установки радіоскопічного контролю залізничної колії	54
3.1 Огляд метрологічних характеристик контролю	54
3.2 Визначення оптимальної швидкості руху	59
3.3 Метрологічне забезпечення системи радіоскопічного контролю залізничної колії	59
4 Охорона праці	61
4.1 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища	61
4.2 Забезпечення нормальних умов праці	62
4.3 Розрахунок захисту від прямого -випромінювання радіоактивних джерел	64
4.4 Розрахунок штучної освітленості в приміщенні	
4.5 Забезпечення безпеки експлуатації системи для автоматизованого радіографічного контролю зварних з'єднань та ЕОМ	67
Висновки.....	71
Список використаної літератури	72
Додатки.....	
Бібліографічна довідка	

ВСТУП

На даний час контроль рейок на залізниці проводиться візуальним методом або простукуванням. Та на жаль такі методи не є ефективними. Існує також можливість проведення контролю акустичним методом, але в цьому випадку потрібно забезпечувати акустичний контакт п'єзоперетворювача з об'єктом контролю. При використанні радіаційного методу не потрібно забезпечувати ні механічного ні акустичного контакту.

Оскільки головним при контролі залізничної колії є швидкість проведення контролю, для підвищення продуктивності контролю рейок запропоновано використовувати установку, яка монтується у вагон-лабораторію, і процес контролю проводити на ходу.

За своєю фізичною природою іонізуюче випромінювання є електромагнітним, але на відміну від інших видів електромагнітних випромінювань іонізуюче випромінювання характеризується малою довжиною хвилі і відповідно великою енергією квантів, що приводить до їх великої проникаючої здатності в речовину. Для такого випромінювання з малою довжиною хвилі ($1 < 10$ нм) поверхня будь-якого тіла є шорсткою, тому звичайного дзеркального відбивання для нього немає. Таке випромінювання зазнає тільки дифузного розсіювання, проходження через речовину і поглинання в речовині. Характер взаємодії проникаючого випромінювання із речовиною ОК детальніше буде розглянуто нижче. Також практично відсутнє заломлення іонізуючого випромінювання при проходженні через межу двох середовищ. Тому на відміну від інших видів контролю електромагнітними випромінюваннями, в радіаційному контролі використовується практично тільки ефект поглинання, що суттєво спрощує процес виявлення дефекту.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

В сфері вантажних та пасажирських перевезень залізничний транспорт посідає вагоме місце. Отже виникає потреба нагляду за станом залізничного полотна. Залізничні рейки можна контролювати кількома методами неруйнівного контролю: вихрострумовий, ультразвуковий, візуально-оптичний, капілярний, тепловий і радіографічний. Проаналізуємо види неруйнівного контролю, щоб вибрати найбільш підходящий для контролю зварних з'єднань.

1.1 Аналіз існуючих методів контролю залізничної колії

1.1.1 Вихрострумовий метод контролю залізничних рейок

Вихрострумові методи контролю використовуються для виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів типу тріщин, розшарувань, пелен, закатів, раковин, вимірювання товщини листів, стінок труб, товщини покриттів, діаметра прутків і дроту, контролю структурного стану та визначення марки сталі.

Вихрострумовий неруйнівний контроль ґрунтується на аналізі електромагнітного поля вихрових струмів, які наводяться в контрольованій ділянці виробу.

Інтенсивність і розподілення вихрових струмів у виробі залежать від їх частоти, геометричних особливостей виробу, електрофізичних властивостей матеріалу, з якого виготовлений виріб (електропровідність, магнітна проникність), а також від взаємного розташування виробу і вихрострумового перетворювача.

Для вихровострумового контролю використовують діапазон частот від 10 до 10^7 Гц.

Вихровострумовий перетворювач (ВСП) складається з однієї або декількох індуктивних котушок, призначених для безконтактного локального збудження вихрових струмів у виробі і перетворення їх поля в електричний сигнал, який містить інформацію про вище перелічені параметри.

Інформаційні можливості вихровострумового контролю обмежені величиною зазору між контрольованим виробом і котушками перетворювача, глибиною проникнення електромагнітного поля в матеріалі виробу і поширюються лише на його поверхневі та підповерхневі шари, які найбільш щільно прилягають до перетворювача. Глибина проникнення поля оцінюється за формулою [1]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}, \quad (1.1)$$

де ω – циклічна частота поля, с^{-1} ;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна стала, $4 \cdot 10^{-7}$ Г/м;

μ – відносна магнітна проникність матеріалу виробу;

σ – питома електропровідність матеріалу виробу.

Вихровострумовий неруйнівний контроль залежно від способу добування корисної інформації з електричного сигналу ВСП підрозділяється на такі методи:

- амплітудний;
- фазовий;
- амплітудно-фазовий;
- частотний;
- багаточастотний;
- змінно-частотний;
- імпульсний;
- абсолютний;

- модуляційний;
- диференційний;
- спектральний.

Визначення перелічених методів міститься в Стандартах України [2].

Допуски на діаметр і товщину стінки, розміри, вид, місце розташування та орієнтація недопустимих несутільностей, вимоги до структурного стану, хімічного складу, а також необхідний рівень чутливості контролю конкретних виробів встановлюються у відповідних стандартах і технічних умовах на контрольовану продукцію або в методиці проведення контролю. Узагальнена схема вихрострумового контролю за допомогою накладного ВСП зображено на рис. 1.1 .

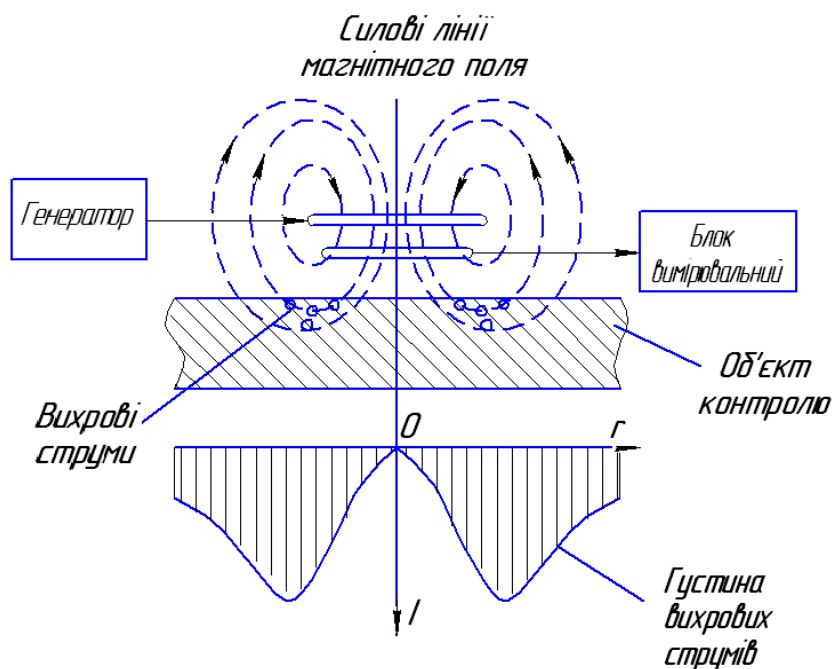


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема вихрострумового контролю за допомогою накладного ВСП

Даний метод контролю забезпечує можливість безконтактного контролю, що є основною його перевагою. При цьому досягається велика продуктивність, мала залежність від стану середовища на результат контролю, велика

надійність, можливість роботи в середовищах з підвищеною радіацією або запиленістю. Ще однією перевагою вихрострумового методу контролю є те, що ми отримуємо електричний сигнал, який одразу ж можемо обробляти [3].

Недоліком даного методу є можливість контролю тільки електропровідних об'єктів або при наявності електропровідних основ при контролі діелектричних матеріалів, а також складність побудови пристроїв обробки багатопараметричної вимірювальної інформації.

1.1.2 Ультразвуковий метод контролю залізничних рейок

Ультразвукові методи широко використовують для контролю якості матеріалів, виробів і зварних з'єднань. Вони засновані на властивостях пружних хвиль поширюватись, заломлюватись, розсіюватись і поглинатись на порушеннях цілісності досліджуваного пружного середовища.

При ультразвуковому контролі використовують три основних методи, які відрізняються один від одного за ознакою виявлення дефекту: тіньовий метод, луно-метод, дзеркально-тіньовий метод .

Насамперед – імпульсний лунометод, побудований на відбитті УЗ-коливань від несучільності (відбивача), причому амплітуда відбитого-сигналу пропорційна площі цього відбивача. Цим методом контролюють поковки, штампування, прокат, термооброблене лиття, пластмаси, вимірюють товщину металів і оцінюють структуру матеріалів. Луно-метод широко використовують для контролю зварних з'єднань. Чутливість луно-методу висока: вона досягає $0,5 \text{ мм}^2$ на глибині 100 мм. До переваг даного методу варто також віднести можливість одnobічного доступу до зони шва, оскільки досить тільки одного перетворювача і для випромінювання і для прийому УЗ-сигналів. Недолік луно-методу – це різка зміна амплітуди відбитого сигналу від орієнтації дефекту (кута в між УЗ-променем і площиною відбивача). Схема проведення ультразвукового контролю імпульсним луно-методом зображена на рис. 1.2 [4].

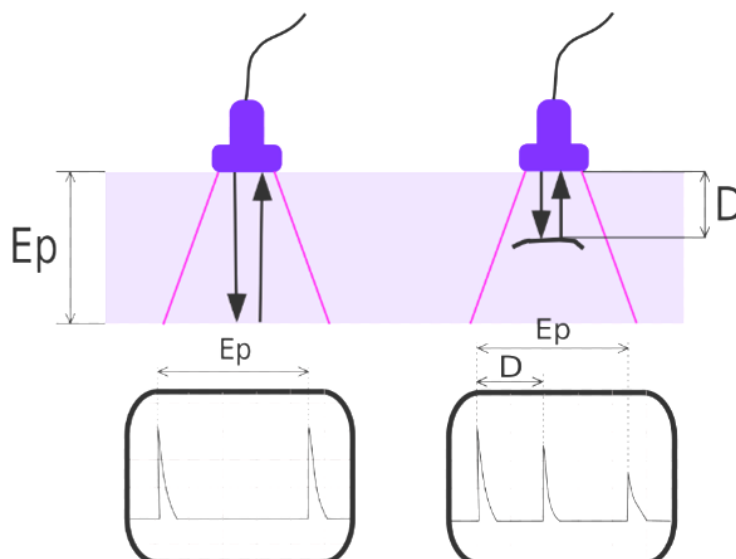


Рисунок 1.2– Схема проведення ультразвукового контролю імпульсним луно-методом

Тіньовий метод інколи називають методом наскрізного прозвучування. Випромінювач і приймач розділені. Дефект на шляху ультразвукових хвиль ослаблює сигнал, який приймається.

Тіньовий і дзеркально-тіньовий методи, широко розповсюджені, засновані на зменшенні амплітуди ультразвукових коливань унаслідок наявності несутцільності. Чим більший дефект, тим слабкіший сигнал, який прийшов до приймача. у тіньовому методі ультразвуковий промінь йде прямо від генератора до приймача через контрольований метал. тіньовий метод застосовують в основному для контролю прокату малої і середньої товщини, деяких гумових виробів (покришок коліс), для дослідження пружних властивостей склопластиків, бетону, графіту і т.д. на відміну від луно-методу тіньовий метод має високу завадостійкість і слабку залежність амплітуди від кута в орієнтації дефекту. однак має серйозні недоліки: необхідність двостороннього доступу і мала точність оцінки координат дефектів [4].

Дзеркально-тіньовий метод відрізняється від тіньового тим, що реєструє зменшення УЗК, відбитих від нижньої поверхні листа.

Дзеркально-тіньовий метод, як видно зі схеми, не вимагає двостороннього доступу до з'єднання. Цей метод широко використовують для контролю залізничних рейок. Він дозволяє також більш вірогідно визначати наявність корневих дефектів у стикових швах. Недоліком ультразвукового методу є те, що для того, щоб отримати хороший контакт, об'єкт контролю треба змащувати контактною рідиною (гліцерин і т. п.). Перевагами даного методу є те, що самі дефектоскопи є компактними і легкими, мають досить високу роздільну здатність і точність контролю, не мають шкідливого впливу на оператора, можна проводити контроль у важкодоступних місцях.

1.1.3 Візуально-оптичний метод контролю залізничних рейок

Візуальний контроль (огляд неозброєним оком) – найпростіший і загальнодоступний вид неруйнівного контролю, що забезпечує високу продуктивність контролю оптичними методами.

Головною особливістю його є активна роль оператора в його проведенні і отриманні достовірних результатів. Візуальний контроль проводиться без спеціальних засобів, що підсилюють природні якості людини-оператора. Він особливо ефективний при контролі об'єктів порівняно великих розмірів при необхідності виявлення грубих дефектів, відхилень форми, розмірів і оптичних характеристик. Відзначимо особливості зору людини, які треба враховувати при організації візуального контролю.

Найбільша чутливість і найменша стомлюваність людського ока відповідає довжині хвилі 0,56 мкм (жовто-зелений колір) і яскравості 10-100 кд/м², тому цій спектральній складовій повинна віддаватися перевага при роботі з монохроматичними і змішаного складу випромінюваннями. Чутливість зору від яскравості світла з фіксованим спектральним складом змінюється приблизно за логарифмічним законом. Це ускладнює правильну кількісну оцінку яскравості світла оператором. Разом з тим чутливість ока до відносного перепаду яскравості залишається приблизно постійною в діапазоні її

змін до 106 разів. Тому оператор може правильно оцінювати яскравості джерел однакового порядку.

Поле зору при візуальному контролі визначається зором оператора і складає $125^\circ \times 150^\circ$ (із зоною чіткого бачення 2°), що при мінімальному часі огляду 2-3 с і часу інерції зору приблизно 0,1 с дозволяє розрахувати продуктивність контролю конкретних виробів [5].

Мінімальні розміри помітних деталей зображення конкретних контрольованих об'єктів (дефектів) визначаються гостротою зору оператора і залежать також від умов контролю. При тривалій роботі очі оператора стомлюються і гострота зору знижується, що вимагає обмеження часу безперервної роботи оператора, щоб уникнути помилок і пропусків дефектів. гострота зору сильно знижується також із зменшенням яскравості освітлення контрольованого об'єкту. По яскравості око упевнено розрізняє 10-15 градацій, а за кольором – до 200 відтінків, що робить візуальний контроль надійнішим, якщо дефект і фон (контрольований об'єкт) мають різний колір. У якнайкращих умовах контролю досвідчений оператор при різкій межі може виявити контраст $K_d \approx 0,02$.

Таким чином, мінімальний розмір дефекту, який надійно виявляється при візуальному контролі, залежить від характеру досліджуваного об'єкту (зокрема, чим грубіші його поверхня і структура, чим більший розмір дефекту, що виявляється), рівня яскравості і напряду освітлення, контрасту між дефектом і фоном, тобто від перепаду яскравостей, кольорів або відбивних властивостей, а також від особистих якостей оператора (зору, досвіду і т. д.). Орієнтовно вважають, що при візуальному контролі оператор з нормальним зором на відстані якнайкращого зору впевнено виявляє дефекти з мінімальним розміром 0,1 мм в площині, яка є перпендикулярною до лінії спостереження.

Дуже серйозним недоліком цього методу є те, що можна виявляти тільки поверхневі дефекти. Ще дуже багато залежить від особистих якостей оператора (зору, досвіду і т. д.) і від самого освітлення. Для того, щоб виявити досить

дрібні дефекти потрібно лабораторні умови, а нам потрібно виявляти дефекти на об'єкті контролю, який може бути не дуже добре освітлений і т. д.

Візуально-оптичним називають неруйнівний контроль якості із застосуванням оптичних засобів, що дозволяють істотно розширити межі природних можливостей органів зору людини. Він є технічним продовженням візуального контролю, дає можливість виявляти дрібніші дефекти і проводити вимірювання з високою роздільною здатністю (1-5 мкм). При проведенні візуально-оптичного контролю треба враховувати основні особливості, характерні для візуального контролю, оскільки в обох випадках вирішальну роль грає оператор. Підсилити можливості людини дозволяють лупи, мікроскопи, телескопічні пристрої і інші технічні засоби. головним недоліком візуально-оптичного контролю є зниження продуктивності проведення неруйнівного контролю. Тому звичайно проводять багатоступінчастий контроль: оглядають поверхню виробу без оптичних засобів, виявляючи крупні дефекти і підозрілі місця, вивчають ці місця через лупу (однолінзовий мікроскоп), а потім досліджують окремі ділянки контрольованого виробу за допомогою багатолінзового мікроскопа, послідовно підвищуючи кратність його збільшення. При правильному виборі умов візуально-оптичного контролю розміри елементів об'єкту або мінімальних дефектів l_{min} (у мм), що виявляються, зменшуються відповідно до оптичного збільшення пристрою $K_{зб}$ [6]:

$$l_{min} = \frac{0,1}{K_{зб}}. \quad (1.2)$$

Лупи призначені для оптичного контролю близько розташованих елементів зображення при невеликому збільшенні (2-20х) і звичайно при ручному контролі. Зручність роботи з ними визначається тим, що їх легко переміщати по контрольованому об'єкту, а зона огляду лупи порівняно велика.

Мікроскоп є оптичний багатолінзовий пристрій для спостереження елементів, не видимих неозброєним оком, що має регулювання оптичних властивостей. Він дає можливість одержати якісне збільшене зображення,

причому збільшення може досягати 2000 разів, а лінійний дозвіл – 0,5 мкм. Для цілей неруйнівного контролю якості досить широко застосовують мікроскопи серійні (універсальні, вимірювальні, металографічні та ін.) і спеціалізовані для вирішення конкретних контрольно-вимірювальних завдань. Мікроскопи дозволяють проводити візуально-оптичний контроль при різних режимах освітлення і збільшення, а також по різних методиках.

Хоча в даному методі немає стільки залежності від особистих якостей оператора, але він все одно вимагає лабораторних умов для проведення огляду об'єкта контролю і як і попередній метод виявляє тільки поверхневі дефекти.

1.1.4 Тепловий метод контролю залізничних рейок

Тепловий метод неруйнівного контролю за допомогою інфрачервоної апаратури оснований на реєстрації інфрачервоного випромінювання, що виходить з поверхні нагрітого тіла або його теплового поля, приймачами різного типу. Тепловий метод застосовується для виявлення розшарувань, пустот, раковин та інших дефектів суцільності. Суть методу полягає в наступному. Контрольована деталь переміщується по чергово в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Джерело нагріває контрольовану ділянку до 100°C. Інтенсивний відвід тепла на ділянці якісного з'єднання знижує його температуру в порівнянні з ділянкою несправу. Чутливість теплового приймача така, що вдається зареєструвати різницю в температурі поверхні менше 0.1 °C.

В теплових методах неруйнівного контролю в якості пробної енергії використовується теплова енергія, що розповсюджується в об'єкті контролю. Температурне поле поверхні об'єкту з джерелом є джерелом інформації про особливості процесу теплопередачі, які, в свою чергу, залежать від наявності внутрішніх або зовнішніх дефектів. Під дефектом при цьому розуміється наявність закритих раковин, пустот, тріщин, несправів, шлакових включень.

Основною характеристикою температурного поля, що є індикатором

дефектності, служить величина локального температурного перепаду. Координати місця перепаду, його рельєф, або іншими словами топологія температурного поля і його величина в градусах є функцією великої кількості факторів. Ці фактори можна поділити на внутрішні і зовнішні. Внутрішні фактори визначають теплофізичними властивостями контрольованого об'єкту і дефекту, а також їх геометричними параметрами. Ці ж фактори визначають часові параметри процесу теплопередачі. зовнішніми факторами є характеристики процесу теплообміну на поверхні об'єкту контролю, потужність джерела нагріву і швидкість його переміщення вздовж об'єкту контролю. Основним інформативним параметром при тепловому контролі є локальна різниця температур між дефектною і бездефектною областями об'єкта. Знак перепаду залежить від співвідношення теплофізичних властивостей дефекту і виробу. При нагріві виробів, що містять дефекти, які погано проводять тепло, перепад додатній для поверхні, яка нагріта, тобто місце дефекту характеризується локальним підвищенням температури, і від'ємний для нижньої (протилежної) поверхні [7]

У випадку дефекту, що проводить тепло краще основного виробу (металічні вкраплення), знак перепаду змінюється на протилежний.

1.1.5 Радіаційний метод контролю залізничних рейок

В радіаційній дефектоскопії залізничних рейок застосовують радіоізотопи, які випромінюють γ -частинки. В результаті ядерних перетворень радіоактивні ядра стають ядрами стійких ізотопів. Число радіоактивних ядер неперервно зменшується. Число ядерних перетворень за одиницю часу називають активністю ізотопу, яка вимірюється в кюрі.

В дефектоскопії широко застосовують рентгенівські апарати, електромагнітне випромінювання яких близьке по природі до γ -випромінювання ізотопів. Воно отримується гальмуванням електронів в кулонівському полі ядер речовини.

Крім радіографічного методу контролю також використовують радіометричний і радіоскопічний. Ці два методи на практиці використовуються рідше ніж радіографічний метод. Радіометричний метод рідше використовують через його низьку чутливість. Він має високу чутливість тільки при контролі товстих об'єктів (більше 100 мм.). Ще однією проблемою під час радіометричного контролю є пов'язати координати дефекту на осцилограмі з координатами реального дефекту. Радіоскопічний метод дозволяє побачити дефекти в реальному часі. До недавніх пір даний метод мав один суттєвий недолік – низьку чутливість. Низька чутливість була пов'язана із великою зернистістю детекторів, які використовувалися при проведенні радіоскопічного контролю. Але зараз вже розроблені детектори, які характеризуються досить великою чутливістю [8].

Методом радіографії отримують зображення внутрішньої структури зварного з'єднання, яке просвічується іонізуючим випромінюванням. Інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь контрольований виріб, міняється залежно від густини матеріалу і товщини. За результатами вимірювання випромінювання за об'єктом визначають наявність в ньому дефектів.

При радіографії виявлення і реєстрація радіаційного зображення здійснюють детекторами, якими є фоточутлива плівка, фотопапір або напівпровідникова пластина.

Найбільше розповсюдження в промисловій радіографії в якості детекторів отримали різні типи рентгенівських плівок. При радіографії однією із найважливіших характеристик є оптична густина почорніння. Кількісне її вираження B знаходять в залежності від десятичного логарифму відношення інтенсивності видимого світла, яке падає на плівку, і інтенсивності світла після проходження через плівку [9].

Для захисту плівки від розсіяного випромінювання і скорочення експозиції (в 2-3 рази) при просвічуванні застосовують металеві підсилюючі

екрани, які поглинають вторинне довгохвильове випромінювання сильніше, ніж первинне. Підсилююча дія екрану зумовлена фотоелектронами і електронами віддачі, які виникають під дією фотонного випромінювання.

Для контролю особливо відповідальних виробів і швів I класу слід використовувати плівку РТ-5, для зварних швів II класу - плівки типу РТ-4М і РНТМ-1, III класу – РТ-1 [9].

Вузький пучок гальмівного або у-випромінювання сканує по контрольованому об'єкту, послідовно просвічуючи всі його ділянки. Випромінювання, що пройшло через контрольовану ділянку, реєструється детектором, далі перетворюється в електричний сигнал, пропорційний інтенсивності (щільності потоку) випромінювання, падаючого на детектор. Електричний сигнал через підсилювач поступає на реєструючий пристрій. В якості реєструючих пристроїв звичайно застосовують міліамперметр, інтенсивності (щільності потоку) випромінювання, падаючого на детектор. Електричний сигнал через підсилювач поступає на реєструючий пристрій. В якості реєструючих пристроїв звичайно застосовують міліамперметр, механічний лічильник окремих імпульсів, осцилограф, самописний потенціометр і т.д. За наявності дефектів в матеріалі (порожнеча) реєструючий пристрій відзначає зростання інтенсивності (потоку) випромінювання. Наявність дефектів може фіксуватися відхиленням стрілки приладу, записом на самописному приладі, спрацюванням реле, що приводить в дію виконавчий механізм, який відзначає на виробі дефектні ділянки, і т.д. Джерело випромінювання і детектор встановлюють з протилежного боку (робота в прямому пучку) контрольованого об'єкту і одночасно пересувають паралельно поверхні просвічуваного матеріалу і весь час на однаковій відстані від неї. Іноді сканують контрольований виріб при нерухомому джерелі випромінювання і детекторі.

Відмінності дефектоскопії від товщинометрії обумовлені відмінностями в характері вирішуваних ними задач.

1) Зважаючи на локалізацію дефектів і невеликої їх протяжності потрібна швидкодіюча реєструюча апаратура.

2) У режимі виявлення дефектів розміри вікна коліматора в основному визначаються розміром мінімальних дефектів, що виявляються, і тому завжди малі. У зв'язку з цим при інших однакових умовах для забезпечення однакової чутливості в режимі дефектоскопії необхідно підвищувати інтенсивність випромінювання.

3) Внаслідок того, що дефекти виявляють шляхом порівняння якості двох об'ємів контрольованого виробу, які проглядаються в сусідні моменти часу, в дефектоскопії проводять не переривчасті вимірювання.

4) Через кінцеві розміри коліматора дефект не миттєво перекриває вікно коліматора, тому усереднений сигнал від дефекту на виході детектора не є прямокутним. Це служить додатковою причиною того, що дефектоскопічний режим роботи установки менш чутливий.

При радіографічній дефектоскопії проблемними є визначення розмірів дефектів і координат їх розміщення в напрямку просвічування. Ще одним суттєвим недоліком даного методу є те, що прилади є досить громіздкими і важкими. Також при дефектоскопії цим методом оператор отримує шкідливе опромінення від апаратів.

1.2 Постановка задачі на бакалаврську роботу

Вище були розглянуті методи неруйнівного контролю за допомогою яких можна проводити контроль залізничних рейок. На даний час немає універсального методу неруйнівного контролю в даній сфері. Для виявлення поверхневих дефектів, типу тріщин, найчастіше використовують капілярний метод контролю. Дещо рідше використовується магнітографічний (для контролю металів, які можна намагнітити) і вихрострумний (для контролю електропровідних матеріалів) методи контролю. При виявленні поверхневих тріщин майже не використовується ультразвуковий і радіографічний методи

контролю. Для виявлення дефектів, які знаходяться на глибині декількох міліметрів під поверхнею використовують вихрострумовий, акустичний, магнітографічний, радіографічний методи неруйнівного контролю. Для виявлення дефектів, які знаходяться на значній глибині використовують тільки акустичний і радіографічний методи неруйнівного контролю. Розміри найменшого дефекту, який можна виявити за допомогою ультразвукового методу контролю більші від довжини ультразвукової хвилі, яку випромінює п'єзoeлектрична пластина. Максимальна частота ультразвукової хвилі на якій працюють ультразвукові дефектоскопи складає 10 мгц. Швидкість звуку в металі становить приблизно 6000 м/с. Довжина ультразвукової хвилі обчислюється за наступною формулою [4]:

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = 0,0006, \quad (1.3)$$

де V – швидкість поширення ультразвукової хвилі;

ν – частота ультразвукової хвилі.

Отже, за допомогою ультразвукового дефектоскопа можна виявити найменший дефект розміри якого становлять більше 0,6 мм. Розміри найменшого дефекту, який можна виявити за допомогою радіографічного контролю складають 0,1 мм. Одним з найбільших недоліків радіографічного контролю перед ультразвуковим є те, що за допомогою радіографічного контролю не можна виявити розшарування металу незначної товщини (декілька сотих міліметрів), але великих поперечних розмірів, площина якого розташована перпендикулярно до напрямку ходу рентгенівських променів. За допомогою ультразвукового методу контролю таке розшарування виявляється дуже легко. Але радіографічний метод неруйнівного контролю перед ультразвуковим має наступні переваги – це можливість візуально побачити дефект, визначити його тип та розміри.

Проте для контролю залізничних рейок радіографічний метод не зовсім підходить, оскільки виникає потреба проводити дефектоскопічне дослідження під час руху вагона-лабораторії, але радіографічний метод контролю

передбачає в якості детектора радіографічну плівку, яку потрібно кожного разу встановлювати на об'єкт контролю. Даний метод дослідження займатиме надзвичайно багато часу та трудових ресурсів. Отже доцільно, в даному випадку, користуватися саме радіоскопічним методом неруйнівного контролю. Тому виникає потреба автоматизації проведення неруйнівного контролю залізничних рейок радіоскопічним методом.

Отже, завдання на дану бакалаврську роботу наступне:

- теоретично обґрунтувати метод для автоматизованого радіоскопічного методу контролю;
- розробити функціональну схему приладу для автоматизованого радіоскопічного методу контролю;
- розробити електричну принципову схему приладу для автоматизованого радіоскопічного методу контролю;
- розробити конструкцію приладу;
- розробити методику проведення контролю за допомогою спроектованого приладу;
- зробити метрологічний аналіз для спроектованого приладу;
- описати вимоги з охорони праці.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РАДІОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

2.1 Теоретичні основи радіаційного методу контролю

2.1.1. Суть контролю проникаючими випромінюваннями

За своєю фізичною природою іонізуюче випромінювання є електромагнітним, але на відміну від інших видів електромагнітних випромінювань (ЕМВ) іонізуюче випромінювання характеризується малою довжиною хвилі і відповідно великою енергією квантів, що приводить до їх великої проникаючої здатності в речовину. Для такого випромінювання з малою довжиною хвилі ($\lambda < 10$ нм) поверхня будь-якого тіла є шорсткою, тому звичайного дзеркального відбивання для нього немає. Таке випромінювання зазнає тільки дифузного розсіювання, проходження через речовину і поглинання в речовині. Характер взаємодії проникаючого випромінювання із речовиною ОК детальніше буде розглянуто нижче. Також практично відсутнє заломлення іонізуючого випромінювання при проходженні через межу двох середовищ. Тому на відміну від інших видів контролю електромагнітними випромінюваннями, в радіаційному контролі використовується практично тільки ефект поглинання.

Загальний закон, який кількісно визначає послаблення будь-яких ЕМВ в поглинаючому середовищі, якщо не враховувати інші види взаємодії, аналітично описується законом Бугера [3]

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu\delta}, \quad (2.1)$$

де I_0 – інтенсивність падаючого пучка електромагнітного випромінювання;

I – інтенсивність пройшовшого ЕМВ через шар речовини товщиною δ ;

μ – коефіцієнт лінійного послаблення.

Коефіцієнт лінійного послаблення μ є чисельною характеристикою процесу поглинання електромагнітного випромінювання речовиною, тому, на основі формули (1.1), знаючи коефіцієнт лінійного поглинання μ матеріалу контрольованого виробу, можна за співвідношенням I та I_0 визначити товщину δ ОК або при незмінній товщині δ визначити зміну μ (що буде вказувати на зміни або складу речовини, або структури об'єкта контролю). Оскільки згадані зміни μ чи δ приводять до зміни I , то процес радіаційного контролю зводиться до реєстрації зміни інтенсивності I пройшовшого через об'єкт контролю іонізуючого випромінювання відомими методами і розшифрування зареєстрованої інформації [8].

Оскільки зміна коефіцієнта лінійного поглинання μ залежить від матеріалу об'єкту контролю і в переважній більшості випадків контролю продукції вид матеріалу є незмінним, то зміни інтенсивності I пройшовшого іонізуючого випромінювання викликаються змінами товщини δ виробів, причому ці зміни можуть бути порушеннями цілісності об'єкту контролю (тобто дефектами) всередині цих виробів. Таким чином радіаційний контроль дозволяє виявляти внутрішні дефекти продукції (тріщини пори і т. п.), які являються порушеннями цілісності об'єкту контролю, але також можна виявляти і вкраплення в основний матеріал об'єкту контролю інших матеріалів, які відрізняються від основного коефіцієнтом лінійного поглинання μ (причому цілісність виробу в останньому випадку не порушена).

Зміни інтенсивності пройшовшого через об'єкт контролю пучка іонізуючого випромінювання, яке не лежить у видимому діапазоні електромагнітного випромінювання, можна переводити за допомогою різноманітних перетворювачів у видимий діапазон і одержувати тіньове зображення об'єкта контролю. при чому дефекти продукції (внутрішні чи зовнішні) будуть проявлятися змінами інтенсивності світла від перетворювача випромінювання (реєстратора).

2.1.2 Основні одиниці вимірювання іонізуючих випромінювань

Одиницею вимірювання енергії іонізуючого випромінювання в міжнародній системі одиниць СІ служить джоуль (Дж). 1 Дж еквівалентний механічній роботі сили в 1 Н, що переміщує тіло на відстань 1 м в напрямі дії сили.

Часто енергію рентгенівського і γ -випромінювання виражають в кілоелектронвольтах (кеВ) або мегаелектронвольтах (МеВ). Електронвольт рівний енергії, яку набуває заряджена частинка, що несе один елементарний заряд (заряд електрона), при переміщенні в електричному полі між двома точками з різницею потенціалів в 1 В.

Активність радіоактивного ізотопу в джерелі (будь-якому об'єкті, що містить яку-небудь кількість радіоактивної речовини) визначається кількістю атомів, які розпадаються за одиницю часу. Таким чином, активність характеризує швидкість розпаду ізотопу [9]:

$$A_i = dN/dt, \quad (2.2)$$

де dN – кількість атомів, які розпалися за час dt .

З співвідношень (2.1) і (2.2) витікає, що активність радіоактивного ізотопу рівна добутку постійної розпаду на загальне число радіоактивних атомів:

$$A_i = \lambda_p \cdot N. \quad (2.3)$$

Активність ізотопу, або число радіоактивних атомів ізотопу в джерелі, зменшується у часі згідно із законом радіоактивного розпаду:

$$A_i(t) = A_i(t=0) \cdot \exp(-\lambda_p t) = A_i(t=0) \cdot \exp(-0,693 \cdot t/T_{1/2}). \quad (2.4)$$

Активність ізотопу в джерелі визначається кількістю розпадів в секунду і в системі СІ вимірюється в Бекерелях (Бк). На практиці широко застосовується позасистемна одиниця активності – кюрі (Ки). Кюрі – активність такої кількості радіоактивної речовини, в якій відбувається $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів в секунду. Така кількість розпадів в секунду відбувається в 1 г радію.

Відношення активності ізотопу в радіоактивному джерелі до маси або об'єму джерела називають відповідно питомою або об'ємною активністю ізотопу.

З визначення активності виходить, що чим більше радіоактивної речовини знаходиться в джерелі, тим вища активність джерела, і чим більший період напіврозпаду ізотопу, тим більше радіоактивної речовини необхідно взяти для отримання даної активності. Наприклад, активність 1 Кі має джерело зі стронцієм ^{90}Sr , в якому знаходиться менше чим 0,01 г радіоактивної речовини, в той же час для отримання такої ж активності джерела з ураном ^{238}U було потрібно більше за тонну природного урану.

Інтенсивністю іонізуючого випромінювання (або густиною потоку енергії) називають енергію випромінювання, яка падає за одиницю часу на одиницю площі, розташовану перпендикулярно напрямку випромінювання. Одиницею інтенсивності служить Вт/м^2 , що еквівалентно енергії випромінювання в 1 Дж, падаючої на поверхню площею 1 м протягом 1 с.

Для випромінювання з частотою ν інтенсивність I визначається за формулою

$$I = N_k \cdot h\nu \quad (2.5)$$

де N_k – число квантів енергії, падаючих на поверхню площею їм в 1 с;

$h\nu$ – енергія кванта.

У радіаційній дефектоскопії для більшої частини розрахунків рентгенівський випромінювач або джерело у-випромінювання можна прийняти за точкове джерело, тобто за таке джерело випромінювання, лінійні розміри якого значно менші відстані між ним і місцем реєстрації випромінювання. у такому випадку до джерел рентгенівського і γ -випромінювання застосуємо закон, згідно з яким інтенсивність випромінювання змінюється зворотно пропорційно квадрату відстані від джерела.

Нехай точкове джерело випромінювання розташоване в точці O . Інтенсивність випромінювання, що проходить через одиницю поверхні сфери радіусом r_1 з центром в точці O ,

$$I_1 = E/(4\pi r_1^2), \quad (2.6)$$

де E – сумарна енергія випромінювання даного джерела за 1 с. Аналогічно для сфери радіусом r_2 інтенсивність випромінювання

$$I_2 = E/(4\pi r_2^2) \quad (2.7)$$

Розділивши першу рівність на другу, отримаємо

$$I_1/I_2 = r_2^2/r_1^2. \quad (2.8)$$

Таким чином, знаючи інтенсивність випромінювання точкового джерела I_1 , можна визначити на відстані r_1 від нього інтенсивність випромінювання, яку створює джерело на будь-якій відстані r :

$$I = I_1 r_1^2 / r^2. \quad (2.9)$$

Для оцінки дії іонізуючого випромінювання в якому-небудь середовищі служать так звані дозові характеристики поля випромінювання. Одна з цих характеристик – поглинена доза випромінювання D_n – являє собою енергію іонізуючого випромінювання, віднесену до одиниці маси речовини, яка опромінюється [10]:

$$D_n = dE/dm, \quad (2.10)$$

де dE – енергія, передана іонізуючим випромінюванням в об'ємі речовини масою dm .

Під переданою енергією тут розуміється різниця між сумарною енергією всіх частинок, які попадають в об'єм розглядуваний речовини і сумарною енергією всіх частинок, які покидають цей об'єм.

Одиниця поглиненої дози – грей (Гр.). 1 Гр – це доза випромінювання, при якій опромінений речовині масою 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання 1 Дж. Позасистемна одиниця поглиненої дози – рад.

Потужністю поглиненої дози називають дозу, поглинену за одиницю часу. За одиницю потужності поглиненої дози будь-якого виду іонізуючого випромінювання прийнятий Гр/с, позасистемна одиниця рад/с.

Еквівалентна доза випромінювання визначає біологічний вплив випромінювання на організм людини. Еквівалентна доза випромінювання рівна добутку поглиненої дози D_n випромінювання в біологічній тканині на коефіцієнт якості K цього випромінювання:

$$D_{\text{зкв}} = D_n \cdot K. \quad (2.11)$$

Коефіцієнт якості K служить для порівняння різних видів іонізуючого випромінювання по очікуванім біологічним ефектом. Наприклад, для β – випромінювання, рентгенівського і γ -випромінювання $K = 1$; для потоку нейтронів з енергією до 10 MeV $K = 10$, а для α -випромінювання з енергією до 10 MeV буде $K = 20$.

За одиницю еквівалентної дози випромінювання прийнятий зіверт (Зв).

Позасистемна одиниця еквівалентної дози – бер. 1 бер чисельно рівний одному раду, поділеному на коефіцієнт якості K . Одиницями потужності еквівалентної дози випромінювання є Зв/с і бер/с.

Експозиційна доза – характеристика, яка базується на іонізуючій дії випромінювання в сухому атмосферному повітрі. Експозиційна доза випромінювання виражається відношенням сумарного електричного заряду іонів одного знаку dQ , утвореного випромінюванням, поглиненим об'ємом повітря масою dm , до цієї маси: $D_{\text{екв}} = dQ/dm$.

Одиниця експозиційної дози – 1 Кл/кг, що відповідає експозиційній дозі рентгенівського або γ -випромінювання, при проходженні якого через 1 кг повітря внаслідок всіх іонізаційних процесів в повітрі створюються іони, які несуть заряд в один кулон електрики кожного знаку.

Позасистемна одиниця експозиційної дози – рентген (Р). Рентген – це експозиційна доза рентгенівського і γ - випромінювання, при проходженні яких через $1,293 \cdot 10^{-3}$ г повітря внаслідок завершення всіх іонізаційних процесів в

повітрі створюються іони, які несуть заряд в одну електростатичну одиницю кількості електрики кожного знаку, що відповідає $3.3 \cdot 10^{-3}$ Кл, ($1,293 \cdot 10^{-3}$ г – маса 1 см^3 атмосферного повітря при 0°C і тиску 1013 ГПа).

Потужність експозиційної дози (ПЕД), тобто експозиційна доза випромінювання, віднесена до одиниці часу, вимірюється в А/кг або Р/с. Ампер на кілограм рівний потужності експозиційної дози рентгенівського і γ -випромінювання, при якій за час 1 с сухому атмосферному повітрю передається експозиційна доза 1 Кл/кг.

Основні одиниці вимірювання іонізуючих випромінювань в міжнародній системі одиниць СІ і їх зв'язок з позасистемними одиницями приведені в табл. 2.1.

Радієвий гамма-еквівалент. Поняття гамма-еквівалента (або радієвого гамма-еквівалента) не встановлене стандартами, однак цією характеристикою джерел γ -випромінювання широко користуються при розв'язанні багатьох практичних задач.

Вимірюванням встановлено, що 1 мг Ra у вигляді точкового джерела, вміщеного в фільтр з платини товщиною 0,5 мм, створює на відстані 1 см потужність експозиційної дози, рівну 8,4 Р/г. Ця величина названа іонізаційною постійною або гамма-постійною Γ радію. Кожний ізоотоп має свою гамма-постійну, яка показує, яку потужність експозиційної дози γ -випромінювання створює точкове джерело даного ізоотопу активністю 1 мкі на відстані 1 см протягом 1 г. одиниця вимірювання гамма-постійної: $\text{р-см}^2/(\text{г-мкі})$.

Величина гамма-постійної залежить від схеми радіоактивного розпаду ізоотопів, тобто від числа γ -квантів, що припадають на один розпад, і їх енергії. Деякі радіоактивні ізоотопи випускають кванти однакової енергії, як, наприклад, цезій ^{137}Cs , у якого енергія квантів рівна 0,661 МеВ. Таке випромінювання називають моноенергетичним (монохроматичним), а його спектр графічно представляють у вигляді однієї лінії.

Таблиця 2.1—Одиниці вимірювання іонізуючих випромінювань

Параметр	Одиниця вимірювання в системі СІ	Позасистемна одиниця	Співвідношення між одиницями
Енергія іонізуючого випромінювання	Дж	еВ	$1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{12} \text{ MeV}$
Активність ізотопу	Бк	Ки	$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{11} \text{ Ки}$
Інтенсивність іонізуючого випромінювання	Вт/м ²	MeB/(см ² с)	$1 \text{ Вт/м}^2 = 6,24 \cdot 10^8 \text{ MeB/(см}^2\text{-с)}$
Поглинена доза випромінювання	Гр	Рад	$1 \text{ Гр} = 10^2 \text{ рад}$
Потужність поглиненої дози випромінювання	Гр/с	Рад/с	$1 \text{ Гр/с} = 10^2 \text{ рад/с}$
Еквівалентна доза випромінювання	Зв	Бер	$1 \text{ Зв} = 10^2 \text{ бер}$
Потужність еквівалентної дози випромінювання	Зв/с	Бер/с	$1 \text{ Зв/с} = 10^2 \text{ бер/с}$
Експозиційна доза випромінювання	Кл/кг	Р	$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$
Потужність експозиційної дози випромінювання	Кл/кг	Р/с	$1 \text{ А/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р/с}$

Велика частина ізотопів випускає кванти різних енергій, наприклад, спектр випромінювання кобальту ^{60}Co складається з двох основних ліній, відповідних енергіям 1,17 і 1,33 МеВ, спектр випромінювання іридію ^{192}Ir має шістнадцять основних ліній і т.д.

У загальному випадку значення гамма-постійної ізотопного джерела активністю $A_i = 1$ мКі, випромінюючого m квантів γ -випромінювання, обчислюють за формулою [3]:

$$\Gamma = \sum_{i=1}^m \Gamma_i n_i, \quad (2.12)$$

де Γ_i – диференціальна гамма-постійна для окремої лінії спектра;

n_i – квантовий вихід, тобто кількість квантів відповідної енергії, яка припадає в середньому на один розпад.

Гамма-еквівалент M джерела γ -випромінювання активністю A_i може бути розрахований за формулою.

$$M = A_i \Gamma / 8,4, \quad (2.13)$$

де 8,4 – гамма-постійна радію.

Співвідношення між гамма-еквівалентом точкового джерела випромінювання і експозиційною дозою $D_{\text{екс}}$ в рентгенах, яка створюється джерелом на відстані r , може бути виражене формулою,

$$D_{\text{екс}} = 8,4 M \tau / r^2, \quad (2.14)$$

де τ – час опромінення, год.

Потужність експозиційної дози $P_{\text{екс}}$, яка створюється джерелом випромінювання активністю A_u , на відстані r може бути розрахована за формулою, Кл/(кг-с),

$$P_{\text{екс}} = 7,15 \cdot 10^{-9} \Gamma A_u / r^2 \quad (2.15)$$

2.1.3 Характеристики радіоізотопних джерел проникаючого випромінювання

Природні радіоізотопи ^{226}Ra , ^{232}Th для радіаційної дефектоскопії зараз не застосовуються. Штучні радіоізотопи одержують опромінюванням в

нейтронних потоках ядерних реакторів (^{20}Co , ^{192}Ir), розділенням кінцевих продуктів поділу ядерного реактора (^{137}Cs , ^{90}Sr), опроміненням неактивних заготовок на циклотронах (^{55}Fe , ^{54}Mn).

Конструктивні особливості радіоізотопних джерел випромінювання визначаються способами герметизації основних частинок.

Енергія E – визначає проникаючу здатність та основні характеристики джерел радіоізотопного випромінювання: виявляючу здатність дефектів в об'єкті контролю різної товщини і густини.

Потужність експозиційної дози (ПЕД) P випромінювання – визначає продуктивність контролю, а також вимоги до ТБ, до конструкції захисних структур.

Питома активність джерела визначає розміри активної частини, а значить, і геометрію контролю, нерізкість зображення і роздільну здатність методу.

Розміри фокусної плями радіоізотопних джерел визначаються проекцією області, зайнятої радіоактивними джерелами на тонку частину ампули, звідки виходить ІВ, чи на площину перпендикулярну напрямові поширення ІВ.

Наявність радіоактивних домішок – в джерелі ІВ приводить до погіршення виявлення дефектів при використанні джерел низько-енергетичного випромінювання.

Період піврозпаду $T_{1/2}$ радіоізотопних джерел ІВ визначає періодичність заміни джерел, затрати на їх придбання і збереження.

Енергія E радіоізотопних джерел ІВ визначається властивостями використовуваного ізотопу і супутніх домішок. ПЕД залежить від сумарної активності ізотопу, розміщеного в об'ємі активної частини джерела (табл. 2.2). Підвищення ПЕД можливе в результаті відповідного збільшення розмірів активної частини.

Таблиця 2.2 – Основні радіаційно-фізичні характеристики радіоізотопних джерел γ -випромінювання

Джерело γ -випромінювання	ПЕД γ -випромінювання ІКі на м (Р/с)	Питома активність (Кі/г)	Енергія основних ліній (MeV)	Період піврозпаду $T_{1/2}$
^{170}Tm	2.79×10^{-7}	350-1000	$\gamma=0.084$ (3%) $\beta=0.867$ (24%) $\beta=0.950$ (76%)	129 днів
^{75}Se	5.36×10^{-5}	—	$\gamma=0.136$ (61%) $\gamma=0.265$ (71%) $\gamma=0.400$ (16%)	120.4 дня
^{192}Ir	1.29×10^{-4}	150—250	$\gamma=0.296$ (26.6%) $\gamma=0.316$ (81.8%) $\gamma=0.468$ (56.5%) $\gamma=0.609$ (11%) $\beta=0.240$ (15%) $\beta=0.535$ (38%) $\beta=0.670$ (41%)	74.4 дня
^{137}Cs	0.86×10^{-4}	10-25	$\gamma=0.661$ (82,5%) $\beta=0.520$ (92%)	29,6 років
^{60}Co	$3,57 \times 10^{-4}$	10-120	$\gamma = 1,17$ (99,9%) $\beta=1,39$ (100%) $\beta=0.318$ (99,9%)	5,25 років

Слід відмітити, що в деяких випадках це небажано, так як виграш в продуктивності контролю не компенсується програшем через погіршення виявлення дефектів і різкості зображення. Крім того для низько-енергетичних джерел (наприклад; ^{170}Tm) збільшення розмірів активної частини приводить до

зміни енергетичного спектру через самопоглинання його низько-енергетичних складових матеріалів активної частини джерела.

Другий спосіб підвищення ПЕД випромінювання джерел – це збільшення їх питомої активності, яка характеризується кількістю ізотопу в одиниці об'єму (маси) джерела. Питома активність ізотопу залежить від густини потоку нейтронів, в якому джерело піддається активації, мікроскопічного поперечного перерізу взаємодії нейтронів з активованим ізотопом, а також від самопоглинання ІВ матеріалом джерела.

Саме тому питома активність джерела має граничне значення. Вона в основному визначається густиною потоку нейтронів реакторів, яка досягає $10^{11} \div 10^{15} \text{ 1/(см}^2\text{-с)}$ і часом активації, протягом якого ізотоп піддається опроміненню нейтронами в каналі реактора.

ПЕД випромінювання радіоізотопного джерела в зв'язку з радіоактивним розпадом постійно зменшується. Відносне зменшення ПЕД ІВ з часом наведене на рис. 2.1.

Радіоактивні джерела γ -випромінювання – ампули, заповнені γ -активним ізотопом, можна поділити на такі групи:

- 1) високоенергетичні з високоефективною енергією $E_{\text{еф}} > 0,8 \text{ MeV}$ (^{54}Mn , ^{60}Co);
- 2) середньоенергетичні – $0,3 < E_{\text{еф}} < 0,8 \text{ MeV}$ (^{192}Ir , ^{137}Cs);
- 3) низькоенергетичні – $E_{\text{еф}} \leq 0,3 \text{ MeV}$ (^{170}Tm , ^{75}Se).

В деяких джерелах при одержанні основного ізотопу не вдається повністю позбутися радіоактивних домішок. Наприклад, в джерелах ^{137}Cs присутні до 7% ^{134}Cs з багаточисельними лініями в діапазоні від 0,086 до 1,57 MeV і з $T_{1/2}=2,07$ року.

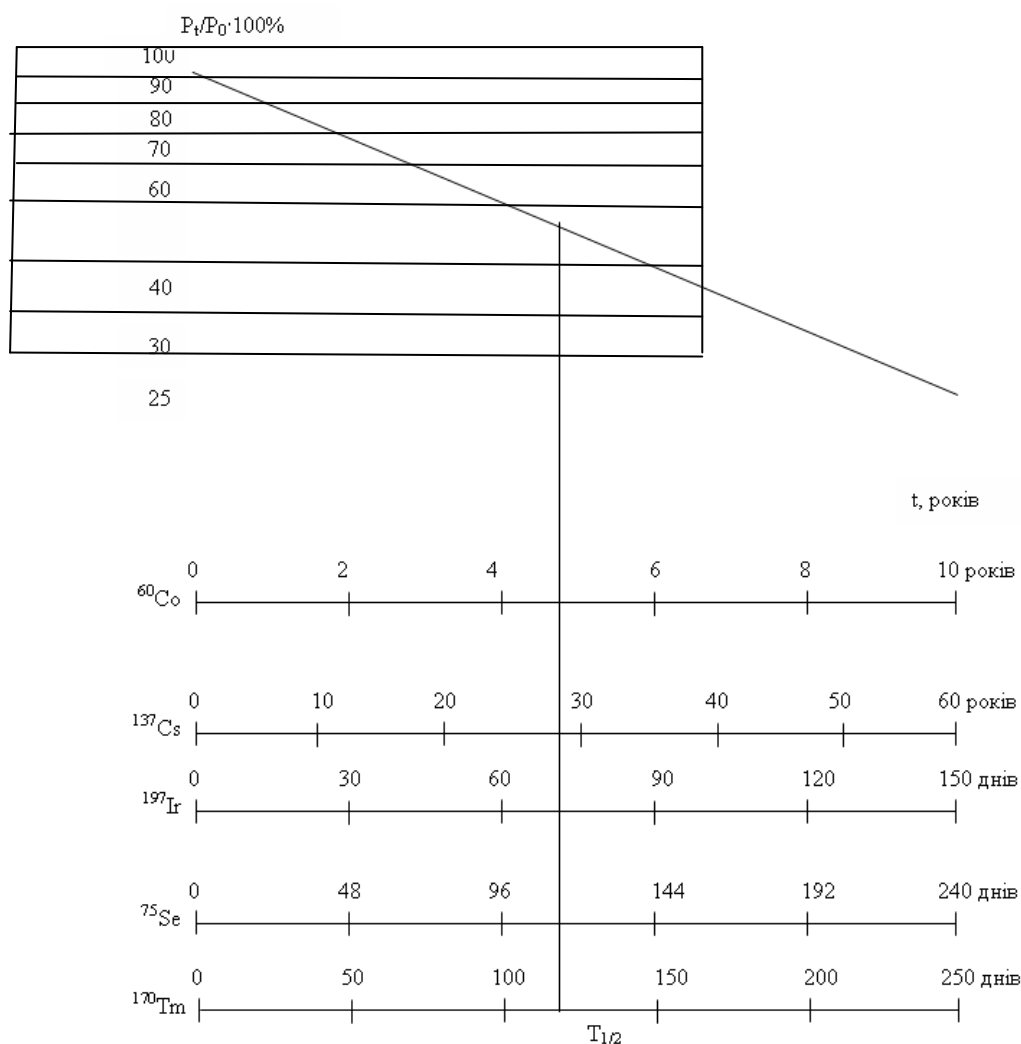


Рисунок 2.1 – Радіоактивний розпад джерел ІВ з часом

В джерелах зі ^{165}Sm присутні до 27% домішок ^{152}Eu і ^{154}Eu з лініями до 1,5 MeV. Наявність домішок в джерелах слід обов'язково враховувати при розрахунку товщини захисних блоків, в яких ці джерела розміщені.

Радіоізотопні джерела мають наступні переваги: невеликі габарити та масу, не вимагають джерел живлення і постійно готові до використання в будь-яких умовах.

Недоліки: необхідність для них спеціальних сховищ, зниження активності з часом.

Радіоізотопні джерела гальмівного випромінювання конструктивно виготовляють у вигляді ампул, заповнених β -активним ізотопом та матеріалом мішені, β – випромінювання, яке випускається ізотопом, взаємодіє з мішенню і збуджує гальмівне випромінювання з неперервним спектром .

Таблиця 2.3 – Основні характеристики радіоізотопних використовуваних джерел γ -випромінювання.

Тип джерела	Ізотоп	Максимальна експозиційна доза на віддалі 1 м, (Р/с)	Розміри радіоактивної частини (діаметр х висота), мм	Зовнішні розміри (діаметр х висота), мм
ГИД-К-2	^{60}Co	$2,5 \times 10^{-4}$	1x1	4x5
ГИД-К-10	^{60}Co	0,5	15x15	19x22
ГИД-Ц-1	^{137}Cs	$1,2 \times 10^{-4}$	3x3	6x10
ГИД-Ц-6	^{137}Cs	0,05	23x23	27x31
ГИД-И-1	^{192}Ir	$1,5 \times 10^{-4}$	0,5x0,5	4x5
ГИД-И-7	^{192}Ir	$2,5 \times 10^{-2}$	6x6	8x9
Се-2	^{75}Se	$2,3 \times 10^{-5}$	5x6	7,5x9,5
Се-5	^{75}Se	$4,7 \times 10^{-4}$	11,5x11,0	16,5x16,5
Ту-0	^{170}Tm	$9,3 \times 10^{-6}$	2x2	4,5x5,0
Ту-3	^{170}Tm	$1,2 \times 10^{-4}$	9x7	12x10

Матеріалом для мішені служать берилій, графіт, алюміній, магній та інш. Змінюючи мішень, можна від одного джерела дістати гальмівне випромінювання з різною максимальною енергією неперервного спектру.

2.2 Розроблення методики проведення контролю

На даний час контроль рейок на залізниці проводиться візуальним методом або простукуванням. Та на жаль такі методи не є ефективними. Існує також можливість проведення контролю акустичним методом, але в цьому випадку потрібно забезпечувати акустичний контакт п'єзоперетворювача з об'єктом контролю. При використанні радіаційного методу не потрібно забезпечувати ні механічного ні акустичного контакту.

Для підвищення продуктивності контролю рейок запропоновано використовувати установку, яка монтується у вагон-лабораторію, і процес контролю проводити на ходу.

Оскільки товщина рейки становить 74 мм, то використання високовольтних рентгенівських апаратів є недоцільним, тому в спроектованій установці використано гамма-дефектоскоп ГАММАРИД-192, як джерело іонізуючого випромінювання.

При виборі джерела іонізуючого випромінювання визначальним параметром є товщина об'єкту контролю. В нашому випадку товщина рейки 74 мм. Було визначено, що для просвічування об'єкту контролю такої товщини найкраще підходить ізотоп цезію-137 типу ГИД-Ц-1. Він придатний для просвічування сталевих виробів товщиною 10-120 мм.

В якості детектора іонізуючого випромінювання рекомендується використовувати електронно-оптичний перетворювач. Оскільки процес контролю проводиться неперервно, то немає можливості в ролі детектора використовувати радіографічну плівку. Електронно-оптичний перетворювач дає можливість спостерігати за світловою картиною безпосередньо під час контролю.

Ще однією перевагою електронно-оптичного перетворювача є те, що він відображає позитивну картину, тобто дефекти відображаються у вигляді світлих ділянок на темному фоні. Відомо, що людське око краще реагує саме на таку картину.

З метою зручності проведення контролю і дотримання безпечних умов праці оптична інформація з електронно-оптичного перетворювача, розміщеного в місці просвічування рейки під вагоном-лабораторією, подається за допомогою світлопроводу на WEB-камеру, після чого сигнал . подається на персональний комп'ютер. Інформація з електронно-оптичного перетворювача подається на WEB-камеру, яку не можна встановлювати безпосередньо в контакт з електронно-оптичним перетворювачем, оскільки на напівпровідникових приладах негативно виявляється дія іонізуючого випромінювання, отже доцільно WEB-камеру рознести в просторі від електронно-оптичного перетворювача, для чого і використовується світлопровід.

Використання WEB-камери надає дуже багато зручностей, зокрема: з її допомогою з'являється можливість передачі зображення на персональний комп'ютер; набагато збільшується зручність візуалізації картини. Якщо світлову картину спостерігати безпосередньо через об'єктив, то око дуже швидко втомиться, а при передачі сигналу на ПК картина розгортається на весь монітор і за нею можуть спостерігати декілька операторів, вона навіть може виводитись одразу на кілька моніторів; з'являється можливість програмної обробки сигналу та автоматичної сигналізації при появі дефекту, а також відповідне маркування; з'являється можливість запису інформації для повторного перегляду; можливість автоматичного відліку рейок.

Для розрахунку параметрів даної установки потрібно скористатися законом Бугера:

$$I_n = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot \delta}, \quad (2.16)$$

де I_0 – інтенсивність випромінювання;

I_n – інтенсивність пройшовшого випромінювання;

δ – товщина об'єкта контролю;

μ – коефіцієнт лінійного поглинання, який залежить від матеріалу об'єкту контролю (рисунок 2.2).

При наявності дефекту закон Бугера набуде наступного вигляду:

$$I_n = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot (\delta - \Delta)}, \quad (2.18)$$

де Δ – розмір дефекта у напрямі просвічування.

З наведеної залежності можна зробити висновок, що величина пройшовшого випромінювання при наявності дефекту типу «порожнина» буде більшою, ніж без дефекта:

Графічно цей ефект зображено на рис. 2.2.

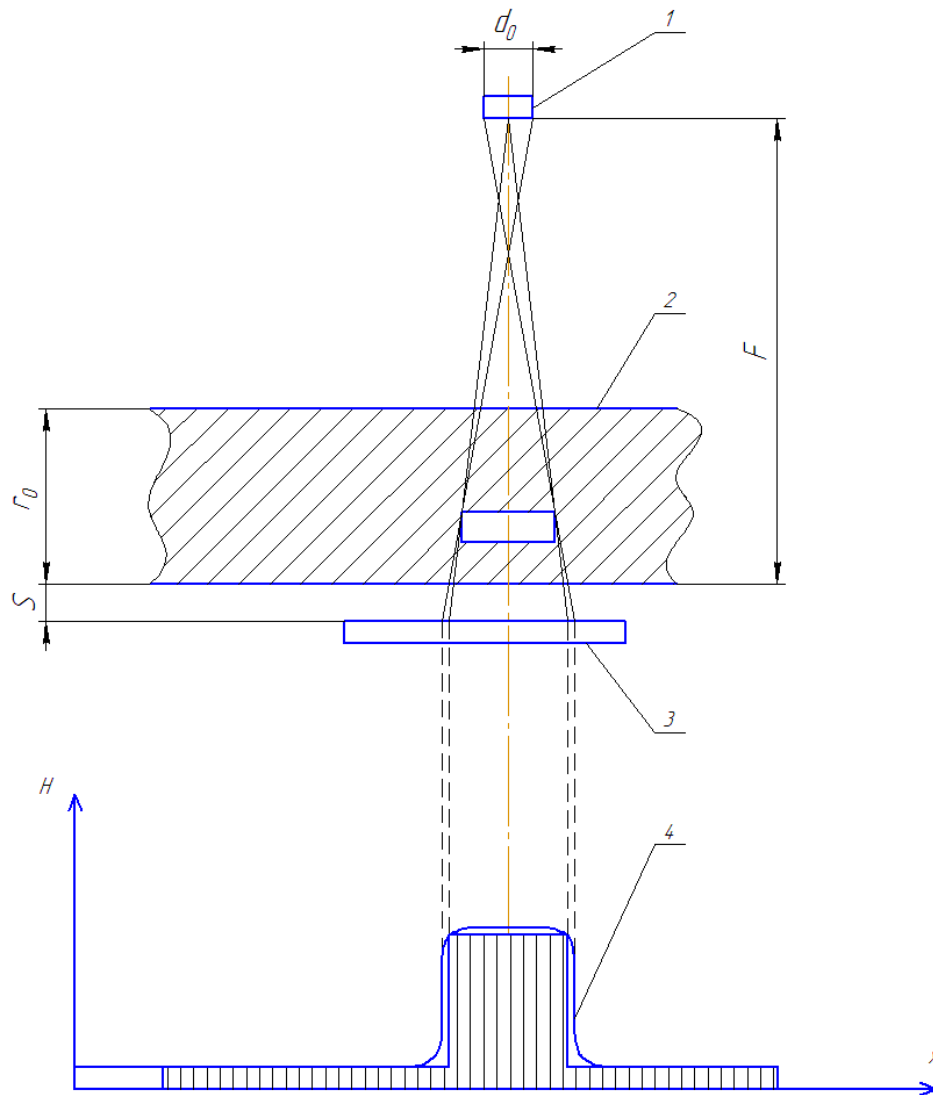


Рисунок 2.2—Залежність інтенсивності пройшовшого випромінювання від наявності дефекту

Інтенсивність свічення електронно-оптичного перетворювача буде пропорційна інтенсивності пройшовшого випромінювання. Це й є причиною появи позитивної картини на фотокатоді перетворювача.

Для визначення діаметру активної частини ізотопу потрібно скористатися залежністю для обчислення фокусної віддалі при радіаційному методі контролю [11]

$$F = \delta \cdot \left(\frac{d_a}{U_r} + 1 \right), \quad (2.19)$$

де F – фокусна віддаль схеми просвічування;

δ – товщина об'єкта контролю;

U_r – геометрична нерізкість радіаційного зображення;

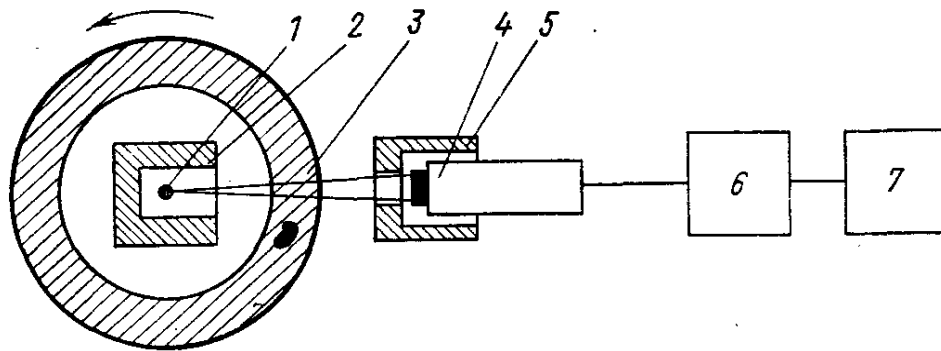
d_a – діаметр активної частини радіоізотопного джерела.

При розрахунку виходили із наступних початкових параметрів: фокусна віддаль $F = 500$ мм; товщина об'єкту контролю $\delta = 74$ мм; геометрична нерізкість $U_r = 0,1$.

$$d_a = \frac{(F - \delta) \cdot U_r}{\delta}, \quad (2.20)$$

Після проведення відповідних обчислень було визначено, що для отримання потрібної нам геометричної нерізкості потрібно, щоб діаметр активної частини ізотопу був рівний 0,6 мм.

Оскільки ампула типу ГИД-Ц-1 має діаметр 6 мм, то очевидно, що геометрична нерізкість буде надто великою. Для вирішення цієї проблеми запропоновано встановити між радіоізотопним джерелом та об'єктом контролю колімаційну діафрагму з отвором 0,6 мм (рисунок 2.3).



1 – джерело випромінювання; 2 - колімаційна діафрагма;
3 – ОК; 4 – блок детектування; 5 - захист блока детектування; 6 - пристрій
обробки; 7 - реєструючий прилад

Рисунок 2.3 – Схема просвічування виробу при радіоскопічній
дефектоскопії

2.3 Розробка конструкції системи радіоскопічного контролю залізничної колії

2.3.1 Опис структурної схеми

Структурна схема системи радіоскопічного контролю залізничної колії подана на аркуші БР.МТ-06.00.00.000С1.

Для електричного живлення використовується стандартний генератор, який виробляє струм напругою 50В, що встановлюється на всіх залізничних вагонах. В зв'язку з тим, що більшість електричних засобів, в тому числі комп'ютери, живляться струмом 220В, частотою 50Гц, з відхиленням не більше $\pm 10\%$, то необхідно забезпечити таке живлення в пересувній лабораторії, враховуючи і нерівномірність руху лабораторії, а то й зупинки, генератор дублюється акумуляторною батареєю. Якщо напруга від генератора падає більше ніж на 10% від номінальної, то спрацьовує реле-регулятор, і живлення перемикається ключем із генератора на акумулятор. Для перетворення

постійного струму з акумуляторної батареї у змінний служить перетворювач. Електричний струм потрапляє на трансформатор, який підвищує напругу з 50В до 220В, а для стабілізації змінної напруги служить феромагнітний стабілізатор. Цією напругою 220В живляться персональний комп'ютер, принтер, блок живлення і блок керування.

Схема дефектоскопічної установки складається із трьох частин:

- електро-механічна,
- радіаційна,
- реєстраційна.

Електро-механічна частина складається з блоку живлення, блоку керування, електро-механічного приводу. Електро-механічний привід живиться струмом, який надходить з блоку живлення, та керується сигналами, що подаються з блоку керування. в свою чергу блок керування отримує команди з персонального комп'ютера. за допомогою електро-механічного приводу вузол просвічування з коліматором та електронно-оптичною системою опускається на об'єкт контролю.

Радіаційна частина складається з власне дефектоскопа («ГАММАРИД 192/120»), колімаційної головки, вузла просвічування, корпус якого одночасно виконує роль захисного екрану, детектора діагностування джерела, об'єкту контролю, детектора, блоку передачі інформації, блоку перетворення інформації та блоку сигналізації дверей. Вузол просвічування, на якому кріпляться колімаційна головка та електронно-оптична система, за допомогою електро-механічного приводу опускається на об'єкт контролю(залізнична рейка). Також за допомогою електро-механічного приводу в колімаційну головку з гамма-дефектоскопа подається капсула з джерелом гамма-випромінювання. При цьому блок діагностування джерела проводить перевірку наявності джерела в коліматорі, а також на придатність джерела до роботи і подає необхідну інформацію на персональний комп'ютер. При дотриманні всіх вимог, розпочинається просвічування об'єкту контролю. Пройшовше гамма-

випромінювання фіксується детектором (електронно-оптичний перетворювач) після чого через блок передачі інформації (система лінза-світлопровід-лінза) подається на блок перетворення інформації (WEB-камера) звідки, вже в оцифрованому виді, подається на персональний комп'ютер для подальшої обробки оператором та програмним забезпеченням. Блок сигналізації дверей контролює закриття дверей радіаційного відсіку лабораторії. Сигнал з даного блоку також надходить на персональний комп'ютер перед початком проведення контролю.

Обчислювальна частина складається з персонального комп'ютера та аксесуарів(дисплей, клавіатура, принтер). Всі команди на виконання будь- яких операцій подаються з персонального комп'ютера.

2.3.2 Опис конструкції установки радіоскопічного контролю залізничної колії

Складальне креслення основної частини системи, блок просвічування, подане на форматі А1 (БР.МТ-06.01.00.000 СК).

Блок просвічування складається з трьох вузлів: каретка, вузол електронно-оптичного перетворювача, вузол світлопроводу.

Каретка виконує одночасно і роль корпусу, на який кріпляться інші вузли та деталі. В середині в каретці розміщені направляючі ролики. Складається даний вузол з двох симетричних частин, до однієї з яких кріпиться коліматор, а до іншої вузол електронно-оптичного перетворювача та вузол світлопроводу. Частини з'єднані між собою болтами.

Складальне креслення вузла електронно-оптичного перетворювача подане на форматі А2 (А1 (БР.МТ-06.00.01.000 СК). Даний вузол складається з корпусу, гайки, лінзи, електронно-оптичного перетворювача та втулки, яка розміщується між лінзою та електронно-оптичним перетворювачем для забезпечення незмінної відстані між ними.

Вузол світлопровода складається з корпусу, гайки, лінзи, втулки і, власне, світлопровода. Тут втулка служить для забезпечення незмінної відстані між лінзою і торцем світлопровода.

На корпус вузла світлопровода кріпиться телекамера, з якої вже оцифрована оптична інформація подається на персональний комп'ютер для подальшої інформації.

2.4 Розроблення електричної принципової схеми радіоскопічної установки

Електрична принципова схема (БР.МТ-06.00.00.000ЕЗ) розроблена на основі структурної схеми.

Для живлення радіоскопічної установки використовується генератор G , з якого змінний струм подається на трансформатор $TV3$, стабілізатор змінного струму $TS1$, трансформатор $TV5$, після якого є два компенсаційні стабілізатори постійного струму, які виробляють напруги $+15\text{ В}$ та $+5\text{ В}$.

На випадок відсутності з деяких причин змінного струму автоматично спрацьовує каскад на мікросхемі $DA1$, яка через реле $K1$ перемкне живлення на акумулятор $GB1$, який живить інвертор на транзисторах $VT1$, $VT2$ та трансформаторі $TV1$, з якого вже змінний струм подається на трансформатор $TV3$ і т. д.

Гамма-випромінювання, яке попадає на оптико-електронний перетворювач $VL1$ створює видиму картину, яка через оптичну систему із світлопроводом подається на відеокамеру, з'єднану з ПК. Висока напруга для живлення оптико-електронного перетворювача $VL1$ створюється каскадом на основі лампи $VL2$.

Через з'єднувач $XS1$ із комп'ютера подаються сигнали керування на оптопари $VS1$, $VS3$, які вмикають двигун M у порібний напрям обертання.

Кінцеві вимикачі служать для подачі сигналу в комп'ютер для вимкнення двигуна M у граничних положеннях блока просвічування.

2.5 Розрахунок радіатора регулюючого транзистора блоку живлення

В стабілізаторах + 15В -15В блоку живлення, вихідні регулюючі транзистори VT12 і VT13 виконують роль додаткового «баластного опору», який регулюється для підтримання вихідної напруги на одному рівні, при проходженні струму через цей «баластний опір» на транзисторі виділяється певна енергія у вигляді додаткового тепла, що призводить до небажаного перегріву кристалу транзистора. Такий місцевий перегрів суттєво погіршує характеристики транзистора, оскільки під дією температури збільшується провідність транзистора в напрямку колектор-емітер, за рахунок збільшення неосновних носіїв заряду, кількість яких залежить від температури, що призводить до некерованого збільшення вихідної напруги, яке вже не може в повній мірі змінити система, що відслідковує значення вихідної напруги, оскільки тепловий струм через колектор-емітер залежить від температури, а отже стабілізатор перестає виконувати свою функцію – підтримувати вихідну напругу точно на заданому рівні. Перегрів напівпровідникових приладів можна зменшити шляхом збільшення теплопровідної поверхні, тобто встановлення приладу на радіатор.

Вихідними даними при проектуванні радіатора є: гранична температура робочої області приладу t_p ; розсіювана приладом потужність P ; температура навколишнього середовища t_0 ; внутрішній тепловий опір приладу між робочою областю і корпусом R_{BH} ; тепловий опір між приладом і радіатором R_K . Методика розрахунку наступна:

- 1) Визначаємо перегрів місця кріплення приладу з радіатором

$$t_K - t_0 = (t_p - t_0) - P \cdot (R_{BH} + R_K), \quad (2.21)$$

де $R_K \approx 2,2 \cdot 10^{-4} / S_K$; S_K – площа контактної поверхні, м^2 .

- 2) Визначаємо в першому наближенні середній перегрів основи радіатора

$$\Delta t_S = t_S - t_0 \approx 0,83 \cdot (t_K - t_0), \quad (2.22)$$

3) Вибираємо тип радіатора. Ця процедура є емпіричною. В першому наближенні тип радіатора можна вибрати з умов теплообміну, представлених у вигляді графіків.

4) Вибираємо коефіцієнт ефективної тепловіддачі $\alpha_{\text{ЕФ}}$ радіатора згідно [12].

5) Знаходимо площу основи радіатора

$$S_p = L_1 \cdot L_2 = \frac{P}{\alpha_{\text{ЕФ}} \cdot \Delta t_S}. \quad (2.23)$$

6) Визначаємо середній перегрів основи радіатора у другому наближенні

$$\Delta t_{S0} = \frac{\Delta t_K \cdot S_K / S_p}{\left[\operatorname{sh} \left(p \cdot \sqrt{S_K / S_p} \right) \cdot \operatorname{ch}^2 \left(\frac{p}{2} \right) / p - \operatorname{ch} \left(p \cdot \sqrt{S_K / S_p} \right) + 1 \right]^2} \quad (2.24)$$

де –

$$p = \sqrt{B \cdot \left[1,5 - \left(\frac{\operatorname{sh} (2 \cdot \sqrt{B})}{2 \cdot \sqrt{B}} + 1 \right) \right]^{-1}}; \quad (2.25)$$

$$B = \alpha_{\text{ЕФ}} \cdot S_p / (\lambda_p \cdot \delta_p); \quad (2.26)$$

λ_p – коефіцієнт теплопровідності матеріалу радіатора;

δ_p – товщина основи радіатора.

7) Уточнюємо площу основи радіатора

$$S_{p0} = P / \alpha_{\text{ЕФ}} \cdot \Delta t_{S0} \quad (2.27)$$

Конкретний числовий розрахунок радіатора приводиться далі.

Вхідні дані для розрахунку:

транзистор КТ815А,

робоча температура навколишнього середовища $t_0 = 60^\circ\text{C}$,

розсіювана потужність транзистора $P = 1,118 \text{ Вт}$,

внутрішній тепловий опір $R_B = 8 \text{ K/Wm}$,

робоча температура р-п переходу $t_p = 90^\circ\text{C}$,

площа контакту транзистора з радіатором $S_K = 86.58 \cdot 10^6, \text{ м}^2$,

природне повітряне охолодження.

1) Визначимо допустимий перегрів контакту транзистора з радіатором

$$R_K = \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{S_K}, \quad (2.28)$$

$$\Delta t = (t_p - t_0) - P \cdot (R_B + R_K) \quad (2.29)$$

$$\Delta t = 23,897 \text{ K}.$$

2) Визначимо середній перегрів основи радіатора

$$\Delta t_S = 0,83 \cdot \Delta t, \quad (2.30)$$

$$\Delta t_S = 19,834 \text{ K}.$$

3) Вибираємо пластинчатий радіатор.

4) Знаходимо для пластинчатого радіатора коефіцієнт ефективної тепловіддачі при

$$\begin{aligned} \Delta t_S &= 19,834 \text{ K}, \\ \alpha_B &= 25 \text{ Wm/(mK)}. \end{aligned}$$

5) Знайдемо середній перегрів основи радіатора у другому наближенні. При цьому в якості матеріалу радіатора вибираємо алюміній. Теплоємність алюмінію $\lambda_p = 208 \text{ Wm/(mK)}$;

товщина основи $\delta_p = 2 \text{ мм}$.

$$S_{p0} = 2,255 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Беремо радіатор з наступними параметрами

$$S = 23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

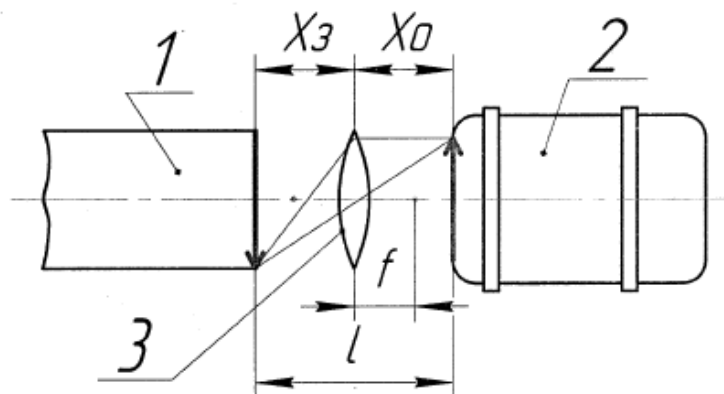
$$d = 5,8 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

$$l = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

2.6 Розрахунок об'єктива вузла електронно-оптичного перетворювача

Об'єктив вузла електронно-оптичного перетворювача являє собою двоопуклу лінзу, яка фокусує зображення з фотокатода перетворювача на торець світлопроводу. Метою розрахунку є визначення радіуса кривизни лінзи. На рис. 2.5 зображена оптична схема, яка відображає хід променів та утворення оберненого зображення на торці світлопроводу. Перед початком розрахунку ми задаємося всього одним параметром – відстанню l від електронно-оптичного перетворювача до торця світлопроводу:

$$l - 26 \text{ мм}.$$



1–світлопровід; 2–лінза; 3–ЕОП

Рисунок 2.5 – Оптична схема вузла електронно-оптичного перетворювача

Також ми задаємося наступними умовами:

$$X_3 = l - X_0; \quad (2.31)$$

$$f < X_0 < 2f; \quad (2.32)$$

$$f < X_3; \quad (2.33)$$

Фокусна віддаль з цими відрізками зв'язана співвідношенням [13]:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{X_0} + \frac{1}{X_3}. \quad (2.34)$$

Оскільки нам потрібно отримати дійсне, неспотворене зображення, то параметри X_0 та X_3 повинні бути рівні між собою:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{X_0}, \quad (2.35)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} \cdot l, \quad (2.36)$$

$$X_0 = \frac{1}{2} \cdot 26 = 13 \text{ мм} \quad (2.37)$$

Для визначення фокусної віддалі скористаємося наступною залежністю:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{\frac{1}{2} \cdot l} = \frac{4}{l}; \quad (2.38)$$

$$f = \frac{l}{4}, \quad (2.39)$$

$$f = \frac{26 \text{ мм}}{4} = 6,5 \text{ мм}.$$

В якості матеріалу, з якого буде виготовлено об'єктив вибираємо скло сорту БК10. Коефіцієнт заломлення скла цього сорту: $n = 1,568800$. Термооптична стала даного сорту скла рівна нулю, що забезпечує нам постійне значення фокусної віддалі при будь-яких метеоумовах, тобто при різких перепадах температури показник заломлення не змінюватиметься.

Для розрахунку радіуса кривизни скористаємося наступною залежністю [13]:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = (n - 1) \cdot \frac{1}{f}. \quad (2.40)$$

Оскільки лінза у нас двоопукла, то дана залежність набуде наступного вигляду:

$$\frac{2}{R} = (n - 1) \cdot \frac{1}{f}, \quad (2.41)$$

$$\frac{2}{R} = (1,568800 - 1) \cdot \frac{1}{6,5} = 0,08.$$

$$R = 25 \text{ мм.}$$

2.7 Розробка креслення плати блока живлення

Креслення друкованої плати класифікується як креслення деталі, 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 необхідні технічні вимоги, дані про матеріал плати тощо [12].

Розробку креслення друкованої плати блока живлення зображеного на аркуші БР.МТ-06.02.01.001.

Починаємо з нанесення координатної сітки, за основний крок якої приймається 2,5 мм..

Для виготовлення друкованої плати використовуємо склотекстоліт СФІ- 50-1. Склотекстоліт вибраний, тому що він недорогий, має придатні діелектричні і механічні властивості. Товщина плати 1,5 мм вибрана для забезпечення необхідної жорсткості та міцності.

Оскільки плата одностороння і планується використовувати в умовах, де відсутня дія вібронавантажень, то металізація монтажних отворів плати не потрібна.

Розводку плати проводимо з врахуванням розмірів елементів і з максимально можливою оптимізацією розміщення елементів на поверхні плати.

Розміри плати вибрані із стандартного ряду згідно стандарту [10].

Покриття поверхонь провідного рисунку - сплав РОЗЕ ТУ 6-09-4065-75.

Маркування плати здійснювати такими маркувальними фарбами: білою (БМ), ТУ 029-02-859-78 та чорною (ЧМ), ТУ 029-02-859-78, при цьому використовувати шрифт 2,5 за НО.010.007.

2.8 Розробка складального креслення блока

Складальне креслення блока на основі друкованої плати при мінімальній кількості зображень повинно давати повну уяву про розміщення і кріплення всіх покупних навісних елементів і деталей. Складальне креслення виконується згідно основних вимог до креслень та правил виконання конструктивної документації виробів, виконаних з використанням електричного монтажу. Конструкції покупних елементів показують у вигляді спрощених зображень, їм присвоюють букво-цифрове позначення у відповідності з електричною принциповою схемою. На складальному кресленні друкованої плати повинні бути вказані номери позицій всіх складових частин [22].

Розробку складального креслення плати блока живлення, поданого на аркуші БР.МТ-06.02.01.000 СК, здійснюють згідно креслення плати.

Встановлення елементів на платі необхідно проводити згідно принципової електричної схеми зображеної на аркуші БР.МТ-06.00.00.000 ЕЗ. Встановлення елементів встановлювати згідно ОСТ 4.010.030-81 за варіантом П а.

Для встановлення реальних габаритних розмірів плати з елементами, робимо вигляд плати збоку і позначаємо на ньому найвищий елемент.

Пайку елементів до плати здійснюють припоєм ПОС61.

На платі робиться маркування фарбою ЧМ, чорний, ТУ 029-02-859-78, при цьому використовувати шрифт 2,5 за НО.010.007. Місця розміщення маркування показані умовно.

З МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ УСТАНОВКИ РАДІОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Стандартизація, метрологія і вимірювальна техніка – три основні ланки, рівень і темпи розвитку яких чинять випереджаючий вплив на якість всієї промислової продукції.

Метрологія – вчення про вимірювання, методи та засоби, за допомогою яких досягається потрібна точність; це – наука з єдиними принципами, методами та засобами.

На сучасному етапі розрізняють теоретичну метрологію, яка розглядає загальні теоретичні проблеми вимірювання, історичну метрологію, законодавчу метрологію, прикладну метрологію, яка вирішує питання практичного застосування методів і засобів вимірювання.

Технічні вимірювання є складовою частиною прикладної метрології.

Метрологія – наукова основа контролю якості. Прикладні дисципліни цієї науки дозволяють нормувати кількісні характеристики якості продукції і процесів, виявляти ступінь точності і надійності результатів вимірювання, що необхідні для по елементного контролю якості продукції на всіх етапах її проектування, виготовлення і експлуатації.

3.1 Огляд метрологічних характеристик контролю

Основною задачею при проведенні неруйнівного контролю будь яким методом є забезпечення точності та достовірності результатів контролю, тобто необхідно досягти того, щоб прогнозовані результати завжди «справджувалися». Чим відповідальнішим та дорожчим є об'єкт контролю, тим вищими є вимоги до достовірності проведення діагностики.

Із усієї безлічі критеріїв доцільності метрологія для засобів вимірювання домінує такі метрологічні характеристики, від яких залежать точність і достовірність вимірювання [14]:

- номінальну статичну характеристику перетворення вимірювального пристрою;
- динамічні характеристики засобів вимірювання;
- характеристики сумарної або систематичної і випадкової складової, що становлять похибки засобів вимірювання;
- варіацію показників вимірювального приладу і сигналу вимірювального перетворювача;
- вхідний опір вимірювального пристрою;
- ціну поділки рівномірної пікали, мінімальну ціну поділки нерівномірної шкали і границі шкали вимірювального приладу;
- характеристики вихідного коду цифрових засобів вимірювання;
- неінформативні параметри вихідного сигналу вимірювального перетворювача і міри;
- функції впливу як залежності змін метрологічних характеристик засобів вимірювання від зовнішніх величин, які впливають, і неінформативних параметрів вхідного сигналу;
- характеристики похибки засобів вимірювання в інтервалі змін величини, що впливає, або неінформативного параметра вхідного сигналу;
- найбільші дозволені зміни метрологічних характеристик, спричинені змінами зовнішніх величин і неінформативних параметрів вхідного сигналу.

Нормування інших метрологічних характеристик підпорядковується нормуванню характеристик засобів вимірювання, їхніх похибок, яке здійснюється з підрозділом похибки Δ засобу вимірювання на систематичну Δ_S і випадкову Δ_B складові або без підрозділу.

Для систематичної складової Δ_S , нормують значення математичного сподівання $M(\Delta_S)$ і середнього квадратичного відхилення $\sigma|\Delta_S|$. Нормованими

характеристиками випадкової складової Δ_B є: середнє квадратичне відхилення $\sigma(\Delta_B)$, нормалізована автокореляційна функція $r_\Delta(\tau)$ або функція спектральної щільності $S_\Delta(\omega)$, випадкової складової похибки.

Для похибки Δ (без підрозділу на Δ_S і Δ_B) засобів вимірювання нормовані характеристики ті самі, що і для похибки Δ_S .

Статичні характеристики засобів вимірювання відповідають статичному режиму застосування засобів вимірювання, при якому вимірювана величина не залежить від часу, а тривалість перетворення достатня для згасання перехідних процесів у вимірювальному колі.

Зв'язок між інформативним параметром x вхідного сигналу і інформативним параметром y вихідного сигналу виражається функцією перетворення [14]:

$$y = f(x). \quad (3.1)$$

Засобу вимірювання присвоюється номінальна функція перетворення:

$$y_{sf} = f_{sf}(x), \quad (3.2)$$

що називається градуйованою характеристикою.

На основі залежностей (3.1) і (3.2) визначають коефіцієнти перетворення:

$$K = \frac{y}{x} \text{ і } K_{sf} = \frac{y_{sf}}{x}, \quad (3.3)$$

причому $K_{sf} = \text{const}$ тільки тоді, коли залежність (3.2) лінійна і проходить через початок системи координат.

Похідна від функції перетворення:

$$S = \frac{dy}{dx} = f'(x) \quad (3.4)$$

або в кінцевих приростах:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (3.5)$$

називається чутливістю засобу вимірювання.

Номінальна чутливість:

$$S_{sf}(x) = \frac{\Delta y_{sf}}{\Delta x}. \quad (3.6)$$

Розмірність чутливості визначається відношенням розмірностей вихідної і вхідної величин.

Характеристики, що відповідають динамічному режиму застосування засобів вимірювання, при якому вимірювана величина залежить або не залежить від часу, але похибки вимірювання залежать від моменту часу відбору вимірювальної інформації, називають динамічними характеристиками.

Як динамічні характеристики засобів вимірювання використовується перехідна функція та імпульсна перехідна функція.

Перехідна функція $h(t)$ – відгук (реакція) лінійної динамічної системи на вхідний вплив у вигляді одиничної функції $l(t)$. За перехідною функцією можна визначати динамічні параметри системи: час реакції t_3 ; постійну часу T , яка характеризує інерційність системи; коефіцієнт перетворення K тощо.

Імпульсна перехідна функція $g(t)$ – відгук динамічної системи на вхідний вплив у вигляді дельта-функції $\delta(t)$.

Похибки вимірювань визначаються головним чином похибками засобів вимірювання, проте вони не тотожні їм. Так, похибки, пов'язані з методом вимірювання, і особисті похибки експериментатора слід відносити тільки до похибок вимірювання, але не до похибок засобів вимірювання. Залежно від характеру і причин їх появи, похибки вимірювань засобів вимірювання поділяють на систематичні (детерміновані) і випадкові (індетерміновані, стохастичні). Розрізняють також грубі похибки і промахи.

Систематична похибка – складова похибки вимірювання, яка при повторенні рівно точних вимірювань незмінного розміру залишається постійною або закономірно змінюється. Систематичні похибки можуть бути вивченими, і результат вимірювання уточнюється або шляхом внесення поправок, якщо числові значення цих похибок визначені, або шляхом застосування таких способів вимірювання, які дають можливість виключити вплив систематичних похибок без їх визначення. Числові значення систематичних похибок визначаються шляхом вивірювання засобів вимірювання.

Випадкова похибка – складова похибки вимірювання, яка при повторенні вимірювання змінюється випадково. Випадкові похибки можуть бути виявленими при повторних вимірюваннях однієї й тієї самої величини, коли отримуються неоднакові результати. Їх не можна виключити (тому що невідомі причини, що їх викликали), але їхній вплив на результати вимірювання може бути теоретично врахованим при обробці результатів вимірювання методами теорії ймовірності та математичної статистики.

Груба похибка вимірювання – похибка, яка суттєво перебільшує очікувану. Результати з грубими похибками виявляють і виключають з розгляду.

Промакх – наслідок несправності засобу вимірювання, помилкового зчитування показників, їхнього запису тощо. Результати з промаками просто відкидають.

Залежно від умов застосування засобів вимірювання їхні систематичні похибки підрозділяють на основні і додаткові.

Основною похибкою називається похибка засобів вимірювання в умовах, які встановлено нормативно-технічними документами як нормальні для даних засобів вимірювання. Ця похибка обумовлена головним чином факторами інструментальних похибок, що є наслідком недосконалості конструкції або принципу дії засобу вимірювання.

Додатковими похибками називають зміни похибки засобу вимірювання, викликані відхиленнями величин, які впливають, від нормальних значень.

Залежно від форми числового виразу похибки незалежно від виду (систематичні або випадкові) розрізняють: абсолютні та відносні – для вимірювання; абсолютні, відносні і приведені – для засобів вимірювання.

Абсолютна похибка Δx – це різниця між вимірюваною величиною $x_{ном}$ (показником приладу x_n) і дійсним значенням x вимірюваної величини, тобто для вимірювання [14]:

$$\Delta x = x_d - x, \quad (3.7)$$

а для приладу:

$$\Delta x = x_n - x. \quad (3.8)$$

Більш інформативною є відносна похибка (γ %), яка з урахуванням виразів (3.7) і (3.8) визначається як:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100. \quad (3.9)$$

Зручно використовувати вираз:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x_d} \quad \text{або} \quad \delta x = \frac{\Delta x}{x_n}, \quad (3.10)$$

тому що значення $x_{ном}$ або x_n відомі, а різниця між (3.10) та (3.9) є величиною вищого порядку малості.

Наведена похибка (γ %) виражається як відношення абсолютної похибки до нормувального значення x_n :

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100. \quad (3.11)$$

При цьому x_n вибирають рівним:

- більшій межі вимірювання, якщо нульове значення x є початком шкали або знаходиться поза діапазоном вимірювання;
- більшому з модулів меж вимірювання, якщо нульове значення знаходиться всередині діапазону вимірювання (для електровимірювальних приладів – сумі модулів меж вимірювання);
- модулю різниці меж вимірювання, якщо шкалу прийнято з умовним нулем (шкала $^{\circ}\text{C}$);
- номінальному значенню для засобів вимірювання з номінальним значенням вимірювальної величини (частотомір з діапазоном вимірювання 45..55 Гц з $f_{ном} = 50$ Гц);
- всій довжині шкали або її частині, рівній діапазону вимірювання (при цьому абсолютну похибку виражають також в одиницях довжини).

3.2 Визначення оптимальної швидкості руху

Для матриці інерційність одного чутливого елемента (пікселя) становить порядку $4 \cdot 10^{-6}$ с. При розмірі світлочутливої матриці WEB-камери порядку 1 см^2 і її роздільній здатності 5 мегапікселів, на сторону матриці, довжиною 1 см, припадає приблизно 2200 пікселів.

Враховуючи, що час спрацювання одного пікселя буде $4 \cdot 10^{-6}$ с, отримаємо, що час послідовного спрацювання всіх пікселів вздовж сторони матриці буде рівний $8,8 \cdot 10^{-3}$ с. Це означає, що протягом цього часу в полі зору нашої оптичної системи може перебувати дефект. Діаметр вхідного отвору електронно-оптичного перетворювача рівний 40 мм, значить швидкість проходження дефекту в полі зору електронно-оптичного перетворювача:

$$V = \frac{40 \text{ мм}}{8,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 0,5 \text{ м / с.}$$

3.3 Метрологічне забезпечення системи радіоскопічного контролю залізничної колії

Для метрологічного забезпечення контролю можна використати рівнякові еталони коли лабораторія стоїть на місці.

Еталони встановити із сторони електронно-оптичного перетворювача після опускання блоку просвічування на рейку, але перед подачею джерела по шлангу-ампулопроводу.

Рекомендується використовувати рівняків еталон № 1, оскільки нам потрібно виявляти тріщини розмірами 0,2 мм.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

Дія випромінювання на організм людини. Дія іонізуючого випромінювання на людину може бути обумовлена зовнішнім, внутрішнім або змішаним (зовнішнім і внутрішнім) опроміненням. Особи, що виконують роботу по радіаційній дефектоскопії, можуть піддаватися, в основному, зовнішньому опроміненню. Іонізуюче випромінювання в тканинах живих організмів іонізує атоми і молекули. Іонізація супроводжується особливими хімічними і біологічними процесами в клітинах тканин. Якщо не створити відповідного захисту від іонізуючого випромінювання, це може викликати різкі ураження організму. Ступінь ураження залежить від того, які органи або тканини піддаються опроміненню, а також від поглинутої в них дози випромінювання і створеного цією дозою біологічного ефекту. Причому однократне опромінення великою дозою наносить більше шкоди, ніж тривале опромінення малими дозами, оскільки в останньому випадку встигає частково відновити функції пошкоджених тканин. Категорії опромінюваних осіб. Всього встановлено три категорії опромінюваних осіб: категорія А (персонал, професійні робітники) – особи, що постійно або тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання; категорія Б (обмежена частина населення) – особи, які не працюють безпосередньо з джерелами випромінювання, але за умовами проживання, професійної діяльності або розміщення робочих місць можуть піддаватися дії радіоактивних речовин та інших джерел випромінювання, що застосовуються на підприємствах і(або) виділяються в навколишнє середовище з відходами; категорія В (населення) – населення області, республіки, країни. В порядку зниження радіочутливості встановлені три групи критичних органів: І група –

все тіло, статеві органи, кістковий мозок; II група – м'язи, щитовидна залоза, жирові тканини, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталік ока та інші органи, за виключенням тих, які належать до груп I та III; III група – шкіра, кісткова тканина, кисті рук, передпліччя і ступні. Для кожної категорії опромінюваних осіб встановлюється три класи нормативів: основні дозові межі; допустимі рівні; робочі контрольні рівні.

Методика розрахунку засобів захисту. Для захисту від іонізуючого випромінювання застосовують стаціонарні пристрої (стіни, перекриття, захист дверей та вікон) і пересувні (захисні кожухи рентгенівських трубок, контейнери для транспортування та збереження радіоізотопів, захисні кабінки та екрани). Захисні пристрої виготовляють з різних матеріалів (свинцю, заліза, чавуна, бетону, свинцевого скла та ін.). При розрахунку товщини захисту, необхідно враховувати енергетичний спектр випромінювання, його інтенсивність, відстань від людей до джерела, час роботи з випромінюванням, категорію опромінюваних осіб та призначення приміщень.

4.2 Забезпечення нормальних умов праці

Велике значення для створення нормальних умов праці має мікроклімат робочої зони. Атмосферне повітря у своєму складі містить (у відсотках об'єму) азот – 78.08, кисень – 20.95, аргон, неон та інші інертні гази – 0.93, вуглець – 0.03, інші гази – 0.01. Повітря такого складу найбільш сприятливе для дихання. Також в приміщенні необхідно забезпечити нормальний мікроклімат. Згідно визначення, як приведені в ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, мікроклімат виробничих приміщень, який визначається діючими на організм людини, сукупностями температури, вологості, і швидкості руху повітря, а також температури навколишнього середовища [25-26]. Значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень наводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень

Назва приміщення	Категорія важкості фізичних робіт	Період року	Температура, С°	Відносна вологість, %	Швидкість повітря <i>i</i> <i>n</i>
Лабораторія	I, а - легка	холодний	22-24	40-60	0,1
		теплий	23-25	40-60	0,1

У приміщеннях із надлишками явного тепла необхідно передбачити регулювання подачі теплоносія для дотримання нормативних параметрів мікроклімату. Кондиціонування повітря повинно забезпечувати автоматичну підтримку параметрів мікроклімату у необхідних межах в перебіг усіх сезонів року, очищення повітря від пилуки. Необхідно також передбачити можливість індивідуального регулювання роздачі повітря у окремих помешканнях, температура повітря, подаваного у помешкання, повинна бути не нижчою 18 °С.

Характеристика штучної вентиляції наводиться в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика штучної вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції (витяжна, прибічна, комбінована, місцеве відсмоктування)	Вентиляційне обладнання (тип вентилятора, Мз продуктивність $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ напір мм. вод. ст., потужність)	Кратність повітряного обміну, 1 год $\frac{1}{\text{год}}$
лабораторія	механічна витяжна	кондиціонер SAMSUNG-2MS	2,5

Характеристика штучної освітленості робочих місць наводиться в таблиці 4.3.

Штучне освітлення варто здійснювати у виді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення. Розмір коефіцієнта природної освітленості повинен відповідати нормативним рівням [27].

Таблиця 4.3 – Характеристика штучної освітленості робочих місць

Назва приміщення (дільниці, цеху, території) або вид робіт	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк				
		Загальне освітлення	Комбіноване освітлення	Аварійне освітлення (для продовження роботи)	Аварійне освітлення (для евакуації людей)	Тип світильника
лабораторія	IV, а	150	200	—	—	ЛДОР з лампами ЛБ-40

4.3 Розрахунок захисту від прямого γ -випромінювання радіоактивних джерел

Радіоактивні джерела, що застосовуються в дефектоскопії, можна розглядати при розрахунку захисту, як точкові джерела. Для точкових джерел експозиційна доза (поглинута доза) і потужність експозиційної дози (потужність поглинутої дози) змінюються обернено пропорційно квадрату відстані між точкою вимірювання та джерелом. В дефектоскопії доводиться мати справу, в основному, з широкими пучками γ -випромінювання. Розрахунки

потужності дози за захистом достатньо важкі у виконанні, оскільки γ -випромінювання більшості використовуваних радіоактивних джерел немоноенергетичне. Тому товщину захисту доцільно визначати за номограмами, графіками та таблицями, які отримані на основі експериментальних і теоретичних даних за ослабленням широкого пучка γ -випромінювання джерел, які використовуються в дефектоскопії [26].

Всі номограми, графіки і таблиці, розраховані для приміщень з постійним перебуванням осіб категорії А, можна використовувати і при розрахунку захисту в інших випадках, в тому числі для осіб категорії Б; для цього необхідно ввести фіктивні потужності експозиційних доз на відстані їм, гамма-еквіваленти джерел і струми рентгенівських трубок, що перевищують істинні в стільки ж разів, в скільки відповідні проектні потужності дози менші тих, які були використані при розрахунках.

Найбільш поширеним методом розрахунку захисту є розрахунок за кратністю ослаблення.

В додатку А приведена номограма для визначення товщини захисту від γ -випромінювання радіоактивного джерела ^{137}Cs по кратності ослаблення свинцем і залізом. По осі ординат відкладена кратність ослаблення γ -випромінювання К, по осі абсцис – товщина захисту l , яка забезпечує дану кратність ослаблення. Користуючись цією номограмою, можна вирішити більшість задач по визначенню довжини захисту від дії радіоактивних джерел, що застосовуються в дефектоскопії.

Розрахунок захисту від γ -випромінювання [11]

Потрібно ослабити γ -випромінювання ^{137}Cs свинцем або залізом до допустимого рівня.

В нашій установці ми використовуємо ампулу ГИД-Ц-4, Потужність експозиційної дози $P = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ К}$

$$K = \frac{5 \cdot 10^{-3} P/c}{1,4 \cdot 10^{-3} P/\text{год}} = 1,28 \cdot 10^4 \quad (4.1)$$

В номограмі знаходимо, що кратність послаблення $K = 1,28 \cdot 10^4$ відповідає $l = 9$ см свинцю і $l = 24$ см заліза. Вибираємо перший варіант, і встановлюємо на підлогу у вагоні-лабораторії дев'яти сантиметровий свинцевий захисний екран.

4.4 Розрахунок штучної освітленості в приміщенні

Наше приміщення має такі розміри: довжина $a = 10$ м, ширина $b = 4$ м, висота $h = 3$ м, висота робочої поверхні $h_{p.n} = 0,8$ м. Нам потрібно створити освітлення $E_{\text{н}} = 200$ лк люмінесцентними лампами типу ЛБ-40 в світильниках ЛДОР. Коефіцієнти відбиття в приміщенні такі: від підлоги $\rho_{\text{п}} = 50$ %, від стін $\rho_{\text{с}} = 30$ %, від робочої поверхні $\rho_{\text{р.п.}} = 10$ %. Коефіцієнт запасу $k = 1,3$.

Даний світильник має в поперечній площині криву світлорозподілу типу Д, тобто косинусний розподіл. В цьому випадку $\lambda = 1,4$.

Висота підвісу світильників ЛДОР з підвісками $h_c = 0,4$ м.

Розрахункова висота рівна:

$$h_p = h - h_{p.n} - h_c \quad (4.2)$$

$$h_p = 3 - 0,8 - 0,4 = 1,8 \text{ м}$$

Відстань між рядами світильників рівна:

$$L = h_p \cdot \lambda$$

$$L = 1,8 \cdot 1,4 = 2,5 \text{ м.}$$

Число рядів світильників рівне:

$$n' = \frac{b}{L} \quad (4.4)$$

$$n' = \frac{4}{2,5} = 1,6$$

Вибираємо $n = 2$. Визначаємо відстань від крайнього ряду світильників до стіни:

$$l = \frac{b - L \cdot 2}{2}$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$l = \frac{b - L \cdot 2}{2}$$

$$i = \frac{10 \cdot 4}{1,8 \cdot (10 + 4)} = 1,5.$$

По цьому значенні інтерполюванням знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $n = 0,532$. Приймаємо коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,15$. визначаємо потрібний світловий потік ламп в кожному із рядів світильників:

$$F_v = \frac{E_v \cdot z \cdot k \cdot a \cdot b}{h_p \cdot n}, \quad (4.7)$$

$$F_v = \frac{200 \cdot 1,15 \cdot 1,3 \cdot 10 \cdot 4}{1,8 \cdot 0,532} = 12489 \text{ лм.}$$

Наші світильники з двома лампами по 40 Вт і потоком по 3000 лм, то необхідне число світильників в ряді:

$$N = \frac{F_v}{6000},$$

$$N = \frac{12489}{6000} = 2,08 \approx 2. \quad (4.8)$$

Загальна потужність ламп освітлювальної установки рівна:

$$P = n \cdot N \cdot 2 \cdot 40 \text{ Вт}$$

$$P = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 40 = 320 \text{ Вт.} \quad (4.9)$$

4.5 Забезпечення безпеки експлуатації системи для автоматизованого радіографічного контролю зварних з'єднань та ЕОМ

Постійні робочі місця повинні бути обладнані з дотриманням правил електробезпеки і внесені в графік періодичної перевірки параметрів, що

забезпечують електробезпеку. Підключення пристроїв до них повинне забезпечуватися штатними роз'ємами. Всі органи управління повинні мати надписи або маркування про їх призначення. При необхідності на постійних робочих місцях повинні бути застережливі і забороняючі плакати. На кожне постійне робоче місце повинен бути паспорт, інструкція по експлуатації (технологічна інструкція) з обов'язковим включенням в неї вимог безпеки. Тимчасові робочі місця для перевірки і наладки дефектоскопа повинні виконуватися, відповідно до п. 5.2.8 діючих правил. Електроживлення постійних і тимчасових робочих місць для наладки і контролю приладів для розшифрування рентгенівських знімків повинне здійснюватися через запобіжники або автомати захисту. Вимикаючі пристрої електроживлення повинні мати чітке визначення включеного положення. Електроживлення повинне виводитися на розетки, що мають чітке позначення напруги. при перервах в роботі робочі місця і пристрої, що знаходяться на них, повинні бути відключені, електрична напруга повинна бути знята. Не допускається залишати без нагляду робочі місця і пристрої, що перевіряються, під напругою. Не допускається захаращувати робочі місця апаратурою і виробами, не потрібними для виконуваної роботи. для зберігання ультразвукових дефектоскопів, що поступили на ремонтно-технічне обслуговування, і пройшли обслуговування, повинні бути обладнані котори або окремі стелажі в робочому приміщенні. У приміщеннях майстернях і лабораторіях повинні бути забезпечені санітарно-гігієнічні умови відповідно до виду виконуваних робіт: по освітленості – згідно **СНіП П-4-79**, по температурі і вентиляції – згідно сніп 2.04.05-86. Вимоги електричної і механічної безпеки для ЕОМ і систем обробки даних встановлені ГОСТ 25861–83. Додаткові або особливі заходи безпеки, яких необхідно дотримуватися при експлуатації і технічному обслуговуванні ЕОМ і їх пристроїв, вказуються в їх ЕД. Особи, що допускаються до експлуатації і технічного обслуговування ЕОМ, повинні пройти цільове навчання по вивченню правил роботи і вимог безпеки при роботі з ЕОМ, а також ЕД на

конкретні види ЕОМ, до роботи з якими вони одержують допуск. До експлуатації ЕОМ допускаються особи, що мають групу по електробезпеці не нижче II до технічного обслуговування – групу III. Враховуючи велику щільність монтажу в пристроях ЕОМ, при їх технічному обслуговуванні повинні забезпечуватися шляхи витоку, повітряні зазори і відстані по ізоляції в ланцюгах, пошкодження ізоляції яких може призвести до ураження електричним струмом. При кожному регламентованому технічному обслуговуванні шляху витоку в ланцюгах напругою вище 42 В повинні очищатися від пилу шляхом протирання спиртом або іншим нейтральним розчинником, а пошкоджені місця ізоляції повинні покриватися ізоляційним лаком. При заміні елементів в цих ланцюгах повинні дотримуватися повітряні зазори між струмоведучими частинами і не допускати гострі виступи припою і виводів елементів. При технічному обслуговуванні пристроїв ЕОМ підлягає обов'язковій перевірці справність зовнішнього підключення ЕОМ до мережі і відключаючих пристроїв. Проводи і кабелі не до виду виконуваних робіт: по освітленості – згідно СНіП повинні мати пошкоджень ізоляції і захисної оболонки, обривів жил у місцях приєднання. В місцях введення у вхідні пристрої проводи і кабелі повинні бути закріплені, щоб не створювати натягу струмопровідних жил. з'єднувальні пристрої, зокрема вбудовані в ЕОМ, повинні мати справні контакти, в з'єднувальних пристроях рележно-контактного типу контактний зазор у виключеному стані повинен бути не меншим 3 мм.

Вентилятори, що встановлені на пристроях ЕОМ для їх охолодження в робочому режимі, повинні проходити перевірку на безпеку експлуатації з періодичністю і в об'ємах, вказаних в їх ЕД.

Всі блокування, що є на пристроях ЕОМ, повинні бути в справному стані і підлягають перевірці при регламентованому технічному обслуговуванні. блокування, що включається для проведення технічного обслуговування, підлягає підключенню і перевірці після його закінчення. захисні блокування від

надзвичайно небезпечних дій (висока напруга, небезпечні випромінювання і т.д.) не повинні включатися.

У пристроях введення і виведення інформації ЕОМ, а також в пристроях відображення інформації з високовольтними телевізійними трубками при їх роботі можуть утворюватися і накопичуватися заряди статичної електрики, тому вони повинні експлуатуватися із застосуванням засобів захисту від статичної електрики, вказаних в ЕД. ці засоби підлягають перевірці при регламентованому технічному обслуговуванні пристроїв.

Категорично забороняється на пристроях ЕОМ, що знаходяться під напругою:

- зняття і установка вентиляторів, блоків і вузлів;
- від'єднання і приєднання зовнішніх і внутрішніх роз'ємів;
- електромонтажні роботи по заміні електрорадіоелементів;
- заміна мережевих запобіжників.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих методів контролю залізничних рейок було встановлено, радіоскопічний метод контролю є придатний для розробки на його основі пристрою для контролю залізничної колії.

В даному дипломному проекті здійснено розробку автоматизованої системи радіоскопічного контролю залізничної колії.

В першому розділі розглянуто ряд існуючих методів контролю залізничних рейок і здійснено їх порівняльну характеристику.

В другому розділі описана теоретична база радіаційного контролю, розроблена конструкція автоматизованої системи, яка поміщається у вагон-лабораторію, розраховано конструктивні параметри окремих блоків проектного пристрою.

В третьому розділі визначено оптимальну швидкість руху для реєстрації дефектів електронно-оптичним перетворювачем та телекамерою, яка становить 0,5 м/с, а також приведені метрологічне забезпечення системи радіоскопічного контролю залізничної колії.

В четвертому розділі дипломного проекту проведено аналіз потенційних небезпек, які виникають при роботі з іонізуючим випромінюванням, & також розглянуті заходи які могли б знизити приведені вище небезпеки. Приведені умови для забезпечення відповідних метеорологічних умов, приділена увага по засобах індивідуального захисту операторів. Проведено розрахунок освітленості у лабораторному приміщенні, а також розрахунок захисного екрану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білокур І. П. Основи дефектоскопії. Підручник. – К.: Азимут Україна, 2004.– 496 с.
2. ДСТУ 2865-94 Контроль неруйнівний. Терміни та визначення
3. Фізичні основи неруйнівного контролю / Р. Т. Боднар, В. Т. Камінський, І. С. Кісіль, З. П. Лютак, О. Є. Середюк.: навчальний посібник.– Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2012. – 384 с.
4. Білокур І. П. Акустичний контроль: навчальний посібник.– К.: ІСДО, 1997. – 244 с.
5. Білокур І. П. Оптичний контроль: навчальний посібник.– К.: ІСДО, 2000. – 124 с.
6. Троїцький В. А. Візуальний та вимірювальний контроль деталей машин, металоконструкцій, зварних з'єднань. К: Фенікс, 2009. – 275 с.
7. Маслова В.О., Стороженко В.А. Термографія в діагностиці та неруйнівному контролі. Харків: Компанія ЗМІТ, 2004. 157 с.
8. Білокур І. П., Фірстов В. Г., Соснін Ф. Р. Радіаційний контроль: навчальний посібник.– К.: НМК ВО, 1992. – 168 с.
9. Троїцький В. А. Посібник з радіографії зварних з'єднань. К.: ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, Фенікс, 2008. – 312 с.
10. Сіднєв Д. А. Фізико-технічні основи променевої діагностики та радіаційний захист.– К.: Поліграф, 2005. -2043 с.
11. Боднар Р. Т. Контроль проникаючими випромінюваннями. Методичні вказівки для виконання курсових робіт. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019.– 69 стор.
12. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів. – Івано-Франківськ: Факел, 2004 – 327 с.

13. Боднар Р. Т. Оптичні прилади інформаційно-вимірювальних технологій. Посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024.– 351 стор.
14. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ За ред. проф.Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескіи Біт», 2003. – 544 с.
15. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювання: Навчальний посібник для студентів ВУЗів. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.
16. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. ISBN 978-9
17. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2001. –219с.
18. Кривенко Г.М. Електронний курс "Основи охорони праці", сертифікат електронного курсу №000177 від 30.06.2021
19. Кривенко Г. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я. Охорона праці: практикум.Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. 205 с.
- 20.Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів: За ред.. Геврика Є.О. – Львів, 2000.
21. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемна техніка: Підручник. 2-е вид. / за ред. Соскова А.Г.– К.: Каравела, 2009.–416 с.
22. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122 с.
23. Купчик В. П. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2000. – 178 с.
24. Микитин Г. В. Основи метрології. – Львів: СПОЛОМ, 2008 р.–296 с.
25. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

26. НРБУ-97/Д-2000 Норми радіаційної безпеки України. Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення. Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000)

27. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

ДОДАТКИ

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: Розроблення установки радіоскопічного контролю залізничної колії.

Обсяг пояснювальної записки – 72 аркушів.

Перелік креслень графічної частини (8 аркушів):

1. БР.МТ -06.00.00.001 – Аналітичні залежності (формат А1);
2. БР.МТ -06.00.00.002 – Технологічна схема (формат А1);
3. БР.МТ -06.00.00.003 – Система автоматизованого радіоскопічного контролю залізничної колії (формат А1);
4. БР.МТ -06.00.00.000 СІ – Структурна схема системи автоматизованого радіоскопічного контролю залізничної колії (формат А1);
5. БР.МТ -06.00.00.000 ЕЗ – Система автоматизованого радіоскопічного контролю залізничної колії. Схема електрична принципова (формат А І);
6. БР.МТ -06.02.01.001 –Плата (формат А2); ДП.ПНК-21.02.01.000 СК - Блок живлення. Складальне креслення (формат А2);
7. БР.МТ -06.01.00.000 СК – Блок просвічування. Складальне креслення (формат А1);
8. БР.МТ -06.00.01.000 СК – Вузол електронно-оптичного перетворювача. Складальне креслення (формат А2);

Дата закінчення проекту: 15 червня 2026 р.

Підпис

