

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Дослідження режимів радіографічного контролю
зварних з'єднань**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП_М-62
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Козій Я.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Барановський В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
 Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри

(підпис)
 « »
 Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)
 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Козій Ярослав Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження режимів радіографічного контролю зварних з'єднань

Керівник роботи Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1057

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: ескізний проект деталі, базовий процес зварювання, бак конденсату

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проектна частина. 5. Безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):
Зварні шви труб діаметром 1020 мм і товщиною стінки 10, 20, 30 мм, базовий технологічний процес контролю

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н., доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Д.т.н., проф. Стадник І.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	16.11-20.11	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	21.11-30.11	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	01.12-07.12	
4	<i>Проектна частина</i>	07.12-.11.12	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	12.12-20.12	
6	<i>Графічна частина</i>	20.11-20.12	

Студент

(підпис)

Козій Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барановський В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Козій Я.В. Дослідження режимів радіографічного контролю зварних з'єднань. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2023.

Об'єктом дослідження є геометричні радіографічний контроль зварних швів труб $\varnothing 1020$ с товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Мета роботи – визначення оптимальних режимів контролю зварних швів труб $\varnothing 1020$ із товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

У роботі досліджено режими радіографічного контролю зварних швів труб $\varnothing 1020$ із товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- проведено аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури;
- сформульовано актуальність досліджень із постановкою завдання;
- проведено низку експериментів;
- знайдено оптимальні режими радіографічного контролю;
- було побудовано номограму експозицій.

Ключові слова: радіографічний контроль, щільність потемніння, час експозиції, рентгенівська плівка, що підсилює екран, доза, імпульсний апарат, фокусна відстань.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Фізичні засади радіаційного методу контролю якості зварного з'єднання	9
1.2. Класифікація методів неруйнівного контролю	11
1.3 Радіографічний метод неруйнівного контролю	12
1.4 Джерела рентгенівського випромінювання	14
1.5 Радіографічна плівка	18
1.6 Підсилюючий екран	20
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	23
2.1 Методика проведення експериментів	23
2.1.1 Об'єкт контролю, вимоги до контролю та вибір схеми просвічування	23
2.1.2 Вибір енергії та джерела випромінювання	26
2.2 Визначення фокусної відстані	27
2.3 Вибір плівки та підсилювальних екранів	28
2.4 Визначення часу експозиції	32
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	38
3.1 Методи аналізу автоматичного зварювання деталей зварних конструкцій	38
3.2 FAST – аналіз	38
3.3 SWOT-аналіз	42
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	44
4.1 Аналіз причин виникнення та дефектів зварних стиків	44
4.2 Характеристики методів неруйнівного контролю зварних швів	53
5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	57
5.1 Безпека в надзвичайних ситуаціях	57
5.1.1 Основні небезпеки у надзвичайних ситуаціях	57

5.2 Охорона праці	61
5.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	61
5.2.2 Обґрунтування заходів щодо захисту дослідника від дії небезпечних та шкідливих факторів	62
5.2.3 Екологічна безпека	67
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Актуальність роботи. Неруйнівні методи контролю суттєво впливають на підвищення довговічності та надійності нафти та газопроводів. В основному для даних цілей застосовують фізичні методи неруйнівного контролю, засновані на використанні іонізуючих випромінювань, ультразвукових коливань, явищ капілярності, електромагнітного поля. Спільні використання різних методів забезпечують 100% контроль якості продукції, виявлення як внутрішніх, і зовнішніх дефектів у матеріалах, деталі та вузли виробів.

На сучасному етапі розвитку промисловості неруйнівний контроль – невід'ємна частина технологічних процесів виробництва.

Обсяг робіт з неруйнівного контролю якості матеріалів, деталей, вузлів та виробів безперервно зростає.

Удосконалення технологічних процесів не виключає необхідності неруйнівного контролю якості продукції, що випускається, оскільки навіть за добре відпрацьованої технології можливі різного роду дефекти, що призводять до зниження механічної міцності литих, зварених, паяних та інших деталей.

Аналіз існуючих методів неруйнівного контролю показує, радіографічний контроль є одним з найбільш інформативних методів дефектоскопії та широко застосовується для контролю небезпечних виробничих об'єктів.

Найбільшого поширення набув радіографічний метод контролю якості зварних з'єднань при виготовлення, монтаж, експлуатацію та ремонт в атомній промисловості, нафтової та газових галузях, машинобудуванні, на вибухо- та пожежо-небезпечних хімічно-небезпечних виробництвах.

Радіографічний метод контролю якості зварних з'єднань останні роки набув широкого розвитку.

Створено ефективні рентгенівські апарати, радіоактивні джерела випромінювання та гамма-дефектоскопи; радіометричні радіаційні дефектоскопи; рентгенівські плівки; підсилювальні екрани; засоби механізації та автоматизації контрольні операції.

Метою даної роботи є вибір оптимальних режимів радіографічного контролю експлуатованих трубопроводів діаметром $\varnothing 1020$ мм, товщиною стінки 10, 20, 30 мм з ново випущеними рентгенівськими плівками та підсилюючими екранами.

Завдання дослідження: обґрунтувати оптимальні режими радіографічного контролю магістральних трубопроводів.

Об'єктом дослідження є труби діаметром $\varnothing 1020$ мм і товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Предмет дослідження – параметри та режими радіографічного контролю.

Отримані результати. Запропоновано методику радіографічного контролю труби діаметром $\varnothing 1020$ мм і товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Практичне значення. Результати роботи можна застосовувати під час проведення контролю якості зварних з'єднань.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 2023 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 25 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 68 сторінках, має 25 рисунків і 12 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Фізичні засади радіаційного методу контролю якості зварного з'єднання

Радіаційні методи контролю засновані на реєстрації та аналізі іонізуючого випромінювання при його взаємодії з контрольованим виробом [8].

При проходженні іонізуючого випромінювання через речовину виробу відбувається ослаблення, поглинання та розсіювання випромінювання. Ступінь ослаблення залежить від товщини d і щільності μ контрольованого об'єкта.

А також буде залежати від інтенсивності R та енергії E самого випромінювання. Наявність у речовині внутрішніх дефектів призводить до зміни інтенсивності та енергії вихідного потоку випромінювання.

Іншими словами, минуле випромінювання несе дефектоскопічну інформацію про внутрішню структуру контрольованого об'єкта [8].

На рис 1.1 наведено схему проходження випромінювання через контрольований об'єкт.

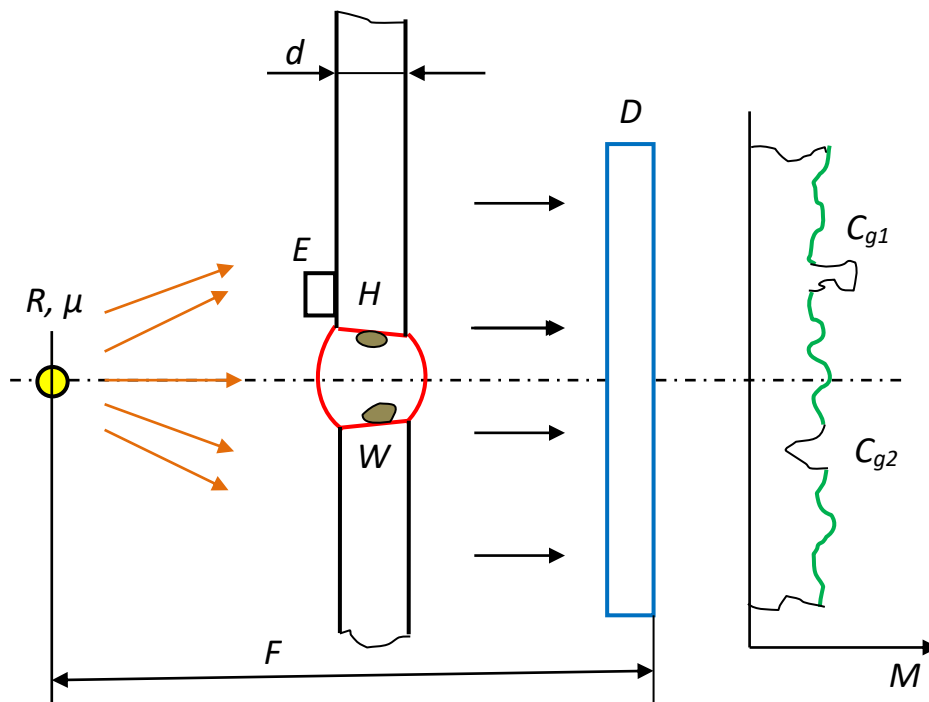


Рисунок 1.1 – Структурна схема проходження випромінювання через контрольований об'єкт

Інтенсивність минулого випромінювання буде більшою на ділянках меншої товщини або меншої щільності, зокрема у місцях дефектів - неметалевих включень.

Залежність ослаблення інтенсивність первинного випромінювання при проходження його через виріб описується виразом

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad 1.1$$

де I_0 – інтенсивність падаючого на матеріал випромінювання;

d – товщина контрольованого виробу,

μ – лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання, см-1.

Він у свою черга залежить від щільності матеріалу об'єкта та енергії випромінювання.

У літературі вираз (1.1) часто називають законом ослаблення вузького пучка випромінювання.

У діапазоні енергій, що застосовуються у радіаційній дефектоскопії джерел випромінювання, зі зростанням енергії E коефіцієнт μ зменшується (для заліза в діапазоні $E < 10$ MeV), що відповідає меншому ослабленню випромінювання речовиною, тобто підвищенню проникаючої здатності випромінювання.

Тяжкі з великим порядковим номером Z речовини мають при даній енергії випромінювання E більше значення лінійного коефіцієнта μ ослаблення випромінювання та, відповідно, сильніше послаблюють випромінювання, наприклад, свинець послаблює випромінювання сильніше, ніж залізо, а залізо – сильніше, ніж алюміній [8].

При просвічуванні виробу на розташовану за виробом радіографічну плівку впливають, однак, не тільки пряме випромінювання, минуле через матеріал виробу, а й розсіяне випромінювання.

Воно утворюється у контрольованому матеріалі і відрізняється від прямого пучка меншою енергією та невпорядкованістю напрямів поширення. При попаданні на рентгенівську плівку розсіяне випромінювання рівномірно підсвічує її та знижує контраст зображення [8].

1.2 Класифікація методів неруйнівного контролю

Методи радіаційного контролю класифікуються насамперед за видом іонізуючого випромінювання та на вигляд детектора, що реєструє це вивчення [6].

Під іонізуючим випромінюванням розуміють випромінювання, взаємодію якого із середовищем призводить до утворення іонів різних знаків. Основними видами радіаційного випромінювання є:

- рентгенівське,
- гамма-випромінювання,
- нейтронне.

При радіаційній дефектоскопії переважно застосовують гальмівне рентгенівське випромінювання. Це фотонне електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м. Маючи ту ж природу, що і видиме світло, але меншу довжину хвилі (у видимого світла $4 \dots 7 \cdot 10^{-7}$ м), рентгенівське випромінювання має високу проникаючу здатність і може проходити через чималі товщини конструкційних матеріалів.

При взаємодії з матеріалом контрольованого виробу інтенсивність рентгенівського випромінювання зменшується, як і використовується під час контролю.

Рентгенівське випромінювання забезпечує найбільшу чутливість контролю [6].

Для його генерації існують різні схеми та велика кількість марок рентгенівських апаратів, як стаціонарних, і переносних.

У останнім часом все більшого поширення набувають малогабаритні імпульсні апарати, що дозволяють при малій потужності за рахунок малого часу імпульсу (1...3 мкс) при порівняно великому струмі (100...200 А) просвічувати досить великі товщини стали [6].

Іншим поширеним видом іонізуючого випромінювання, використовується при контролі зварних сполук, є γ -випромінювання [6].

Це фотонне випромінювання з довжиною хвилі $1 \cdot 10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12}$ м, що виникає під час розпаду радіоактивних ізотопів. Джерелами γ -випромінювання, використовуються при радіаційному контролі, зазвичай є радіоактивні ізотопи тулію, іридію, цезію, кобальту: ^{170}Tl , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co та ін.

Джерела γ -випромінювання компактні та не вимагають додаткових джерел електроенергії для своєї генерації. Однак γ -випромінювання більш небезпечне для людини і, на відміну рентгенівського, може бути виключено.

Проникаюча здатність γ -випромінювання вище, ніж рентгенівського, тому можуть просвічуватись вироби більшої товщини. Тому сфера застосування γ -дефектоскопії – контроль виробів великої товщини. контроль у монтажних та польових умовах, зокрема – трубопроводів, великогабаритних резервуарів та в котлах, просвічування виробів складної форми, якщо розмістити рентгенівський апарат неможливо [6].

Для контролю виробів з важких елементів, для контролю наявності сполук водню, бору, літію та інших легких елементів у капсулах важких елементів, а також під час контролю радіоактивних виробів використовують нейтронне випромінювання, яке отримують у ядерних реакторах або з використанням радіоізотопних джерел [6].

1.3 Радіографічний метод неруйнівного контролю

Залежно від методів детектування (виявлення та реєстрації) іонізуючого вивчення розрізняють радіографію, при якій фіксування зображення внутрішньої структури виробу відбувається на плівці або папері, радіоскопію (зображення спостерігається на екрані) та радіометрію (реєструються електричні сигнали). Радіографія отримала найбільше поширення у зв'язку з простотою, наочністю та документальним підтвердженням результатів контролю. При радіографічному контролі для реєстрації інтенсивності випромінювання, що пройшло через метал, застосовують радіографічну плівку або фотопапір (метод прямої експозиції), металеві активовані екрани або

напівпровідникові заряджені пластини (метод перенесення зображення). Найбільш поширений метод прямий експозиції. При ньому можуть використовуватись всі розглянуті види іонізуючих випромінювань.

Оптична щільність почорніння радіографічної плівки або фотопаперу залежить від дози іонізуючого випромінювання, вона більша на місцях, перекритих менш щільними ділянками контрольованого об'єкта.

Тому такі дефекти, як пори, тріщини, непровари, а також шлакові включення будуть виглядати на радіографічній плівці у вигляді темних плям відповідної форми.

Включення більш щільні, ніж основний метал (наприклад, вольфрамові при зварювання алюмінію електродом, що не плавиться), будуть на радіограмах мати вид світлих плям. Для кращого виявлення дефекту напрямок випромінювання по можливості збігатися з напрямом його максимального розміру [5].

Виявлення дефектів при радіографічному контролі також залежить від різкості зображення. Причинами нерізкості можуть бути:

- утворення в емульсійному шарі плівки фотоелектронів (внутрішня нерізкість),
- розсіювання випромінювання у матеріалі виробу (особливо при просвічуванні виробів великої товщини),
- зміщення або коливання відносного розташування джерела, виробу та детектори (усуваються жорстким закріпленням) та відмінність реальної форми джерела випромінювання від точкової (геометрична нерізкість).

Для зменшення геометричної нерізкості застосовують джерела випромінювання з можливо меншим розміром фокусної плями, максимально наближають плівку до контрольованого виробу та збільшують фокусну відстань (від джерела випромінювання до плівки).

Підготовка до просвічування при радіографії полягає в попередньому огляді зварного з'єднання та очищення його від шлаку, олії та інших забруднень. Зовнішні дефекти видаляють.

Ділянки шва маркують за допомогою свинцевих знаків, або позначають плівку або флуоресцентні екрани. На поверхню виробу поблизу контрольованого шва встановлюються еталони чутливості за ДСТУ 7512-82, найчастіше - канавковий: платівка з канавками змінної глибини або дротяні розміру [5].

Час просвічування визначається за номограмами експозиції, які зазвичай будують для кожного матеріалу в залежності від його товщини, енергії випромінювання (зокрема, напруги на аноді рентгенівської трубки), фокусної відстані; типу застосовуваної плівки та підсилювальних екранів розміру [5].

До недоліків радіаційних методів необхідно віднести шкідливість для людини, у зв'язку з чим потрібні спеціальні заходи радіаційної безпеки: екранування, збільшення відстані від джерела випромінювання та обмеження часу перебування оператора у небезпечній зоні. Крім того, радіаційними методами погано виявляються несплошності малого розкриття (тріщини, непровари), розташовані під кутом більше $7...12^\circ$ до напрямку просвічування, метод малоефективний для кутових швів розміру [5].

1.4 Джерела рентгенівського випромінювання

При радіаційному контролі зварних з'єднань широко використовуються рентгенівські апарати різних типів. Застосовуються два види рентгенівських апаратів: апарати з постійним навантаженням та імпульсні рентгенівські апарати [6].

Апарати з постійним навантаженням у свою чергу випускають двох типів:

1) апарати-моноблоки, у яких рентгенівська трубка та трансформатори змонтовані в єдині блок-трансформатори, залиті маслом або заповнені газом. До цих апаратів відносять як портативні апарати для роботи в польових та монтажних умовах (РУП-120-5-1), так і стаціонарні високовольтні апарати (РУП-400-5-1);

2) апарати кабельного типу, що складаються із самостійного генераторного пристрою, рентгенівської трубки та пульта управління.

Апарати цього типу випускають, як правило, пересувними та використовують їх для роботи в цехових та лабораторних умовах (РУП-150/300-10-1) [6].

Імпульсні апарати у зв'язку з їх малою вагою та габаритами служать у здебільшого для роботи при контролі якості зварних з'єднань магістральних трубопроводів, в умовах стапелю та монтажу [6].

Апарати-моноблоки. В апаратах-моноблоках зазвичай застосовують найпростішу схему (рис. 1.2) - напівхвильову без випрямляча. У цих апаратах на трубку подається струм безпосередньо від трансформатора високої напруги.

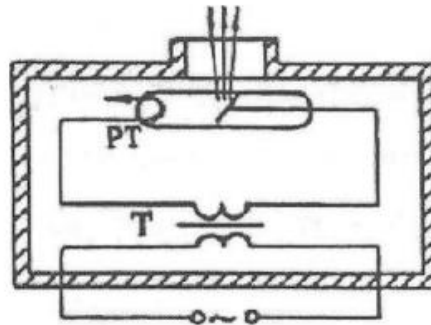


Рисунок 1.2 – Типова схема рентгенівського апарату-моноблоку

Рентгенівська трубка РТ пропускає струм тільки в одному напрямку протягом першого напівперіоду, а потім під час другого напівперіоду вона замикає струм, працюючи як випрямляч.

Використання подібної схеми скорочує термін служби трубки, але простота пристрою апарату компенсує цей недолік [6].

Кабельні апарати. В апаратах кабельного типу застосовують, як правило, схеми подвоєння напруги з двома кенотронами та напівпровідниковими випрямлячами (рис. 1.3). Під час негативного напівперіоду напруги конденсатори та С2 заряджаються через випрямлячі В1 та В2 до половини амплітудного значення. З приходом позитивного напівперіоду вони виявляються включеними послідовно з вторинною обмоткою трансформатора та напруга на аноді трубки збільшується вдвічі [6].

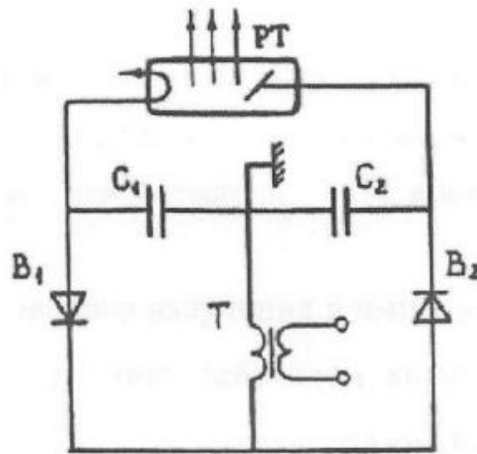


Рисунок 1.3 – Типова схема високовольтної частини рентгенівського кабельного апарату

Генерування рентгенівського випромінювання відбувається протягом напівперіоду. Схема подвоєння напруги дозволяє отримувати високу напруга без збільшення розмірів трансформатора та якості його ізоляції [6].

Імпульсні апарати. В імпульсних апаратах застосовуються спеціальні рентгенівські трубки із холодним катодом [6].

Використовують імпульсні схеми з розрядником та пік-трансформатором (рис. 1.4. де Т – первинний трансформатор, В – випрямляч, С1, С2 – Накопичувальні ємності, РК – розрядник-комутатор, ІТ – імпульсний високовольтний трансформатор, РВ – розрядник - заДСТУрювач, РТ – рентгенівська трубка).

Спалах рентгенівського випромінювання в імпульсному апараті утворюється у рентгенівській трубці РТ під дією короткого імпульсу високого напруги, що формується за допомогою розрядника РВ.

Напруга на трубку прикладається з вторинної обмотки імпульсного пік-трансформатора ІТ момент розрядки накопичувальної ємності С1 (конденсатора) через комутатор РК у первинній обмотці котушки, при цьому у вторинній його обмотці котушки виникає імпульс високого напруги тривалістю близько 10-6 с.

Цей імпульс високої напруги заряджає вихідну ємність С2 до напруги 100-200 кВ - залежно від пробійної напруги розрядника - заДСТУрювача.

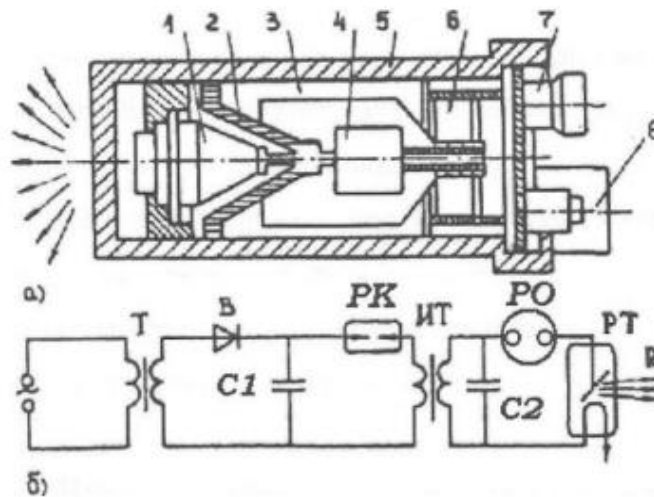


Рисунок 1.4 – Конструкція (а) та типова схема (б) імпульсного рентгенівського апарату: 1 – рентгенівська трубка; 2 – індуктивність; 3 – склянка; 4 – розрядник-заДСТУрювач; 5 – корпус; 6 – імпульсний трансформатор; 7 – високовольтний роз'єм; 8 – масло-розширювач

Частота спалахів у імпульсних рентгенівських апаратах становить 5-20 Гц. Струм в імпульсі досягає 1000-2000 А та більше.

Тривалість рентгенівського імпульсу випромінювання становить десятки наносекунд [6].

Напруга спрацьовування розрядника – заДСТУрювача є робочим напругою рентгенівської трубки. Тому для даного конкретного апарату прискорююча напруга завжди одна і та ж і не може регулюватись.

Розрядник - заДСТУрювач складається із сталевого циліндричного корпусу, керамічного ізолятора у вигляді усіченого конуса та двох електродів із тугоплавкого металу, один із них припаяний до кришки корпусу, інший – до ізолятора.

Робочий обсяг розрядника заповнено технічним воднем чи азотом під тиском 30 – 40 атмосфер.

Завдяки настільки високому тиску, при пробі міжелектродного зазору електричний імпульс із виходу імпульсного трансформатора скорочується за тривалістю приблизно в 100 разів, забезпечується плазмовий вибух мікроДСТУрий катода рентгенівської трубки [6].

1.5 Радіографічна плівка

Зображення контрольованого об'єкта утворюється у методі промислової рентгенографії на рентгенівській плівці. Остання є прозорою (як правило, целюлозною) основою, на яку з двох сторін нанесені шари емульсії - розчин желатину із завислом кристаликів галогеніду срібла (в основному, AgBr) [10].

Під дією рентгенівського випромінювання, що проходить крізь плівку, частина кристалів галогеніду срібла відновлюється до металевого срібла, утворюючи приховане, тобто поки невидиме, зображення. Найважливішим властивістю плівки є залежність між щільністю потемніння та отриманою плівкою дозою випромінювання чи експозицією - тобто. Твором інтенсивності випромінювання на час його дії [10].

Відповідна залежність досить складна, проте для всіх плівок існує ділянка, звана областю нормальних експозицій, де щільність потемніння приблизно пропорційна логарифму експозиції.

Тобто

$$D_1 - D_0 = y * \lg \frac{P_1}{P_0} \quad 1.2$$

де: P_1, P_0 – експозиції (دوزи), що відповідають густинам потемніння D_1, D_0 ;

y – середній градієнт плівки.

Середній градієнт плівки визначає контрастність одержуваного зображення, тому найбільше значення називається коефіцієнтом контрастності. Цей коефіцієнт вказується на упаковці вітчизняних плівок. Існуючі рентгенографічні плівки поділяють на 2 класи:

- безекранні плівки, призначені для використання без підсилювальних екранів або в комбінації з металевими підсилювачами екранами;
- екранні плівки, призначені для використання з флуоресцентними підсилюючими екранами [10].

Останні мають підвищену чутливість до оптичного випромінювання (свічення) флуоресцентних екранів.

Найбільш суттєвим Відмінністю плівок є розмір зерна кристалів галогеніду срібла.

Завдяки малому розміру зерна безекранні плівки мають меншу чутливістю до випромінювання, тобто. вимагають великих доз випромінювання, однак, дають якісніше зображення за рахунок великого коефіцієнта контрастності. Чутливість вітчизняних плівок прийнято характеризувати зворотною величиною дози випромінювання, вираженої в рентгенів, необхідних для перевищення оптичної щільності почорніння плівки на 0,85 одиниць над густиною неекспонованої плівки (вуалі).

Тобто. якщо чутливість плівки 10^{-1} , це означає, що для отримання перевищення її оптичної щільності над вуаллю на 0,85 одиниць необхідне експозиційна доза $0,1$ р [10].

Зарубіжні плівки прийнято характеризувати відносним експозиційним фактором по відношенню до однієї певної, прийнятої за

1. Серед плівок марки СТРУКТУРИКС фірми Агфа-Геверт (Бельгія) такий "Еталонною" є плівка D7 (табл. 1.1).

2. Вітчизняні плівки поставляються пачками форматом 24x30 та 30x40 див. Плівки СТРУКТУРИКС - крім цього, також і в упакованому в світлонепроникні конверти у вигляді, з форматами (6,10) x (24,48,72) див.

3. Крім того, плівки СТРУКТУРИКС поставляються в рулонній упаковці шириною 60, 70 та 100 мм і довжиною 90 м.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики безекранних рентгенівських плівок [10]

Тип плівки	Фірма	Чутливість		Коефіцієнт контрастності
		P-1	Відн. од.	
РТ-5	АО Тасма	2-3	-	4-4,5
РТ-4М		3-4	-	3-3,5
РТ-6М		50-70	-	3
РТ-1		20-25	-	2,5-3
РТ-2		30-40	-	2,5
Структурикс D2	Агва-Геверт	1,2-1,5	-	5,8-6,0

Тип плівки	Фірма	Чутливість		Коефіцієнт контрастності
		P-1	Відн. од.	
Структурикс D2	Агфа-Геверт	1,2-1,5	0,1-0,12	5,8-6,0
Структурикс D3		2,0-2,5	0,2-0,25	5,0-5,5
Структурикс D4		3-4	0,3-0,4	5,0-5,4
Структурикс D5		5-7	0,6-0,7	5,0-5,4
Структурикс D7		10-12	1	4,9-5,4
Структурикс D8		15-18	1,5	4,3-4,8
Структурикс D6R		18-20	1,8-2	4,2
100	Фуджі	10-12	1	-
150		15	1,5	-
Індукс R5	Фома Богемія	6-7	0,7	-
Індукс R7		10-12	1	-

1.6 Підсилюючий екран

Для збільшення чутливості плівок до рентгенівського випромінювання і, отже, скорочення часу просвічування, у промисловій рентгенографії широко застосовуються підсилювальні екрани. Останні діляться на дві принципово різні категорії – металеві підсилювальні екрани та флуоресцентні підсилювальні екрани.

Підсилююче дія екранів першого типу заснована на експонуванні плівки вторинними електронами, вибитими із тонкої фольги металевого екрану рентгенівськими фотонами. Оскільки пробіг цих електронів дуже малий, вони практично повністю поглинаються плівкою, підвищуючи цим її густина потемніння.

Через те, що пробіг їх малий, розмивання зображення у своїй немає, тобто. посилення зображення не супроводжується втратою його якості.

Практично використовуються свинцеві або свинцево-олов'яні фольги.

Коефіцієнт посилення їх, тобто. Ставлення експозицій з екраном і без нього, може, залежно від енергії рентгенівського випромінювання, сягати 2-2,5. Спільно з плівкою використовують пару екранів по обидві сторони, т.о. вплив екрану практично подвоюється.

Згадані вище формати плівок СТРУКТУРИКС заздалегідь забезпечені парою свинцевих фоли товщиною 27 мкм, завданих на паперову основу [10].

Підсилювальна дія флуоресцентних екранів заснована на конвертування ними частини рентгенівського випромінювання в оптичне речовиною екрану – люмінофором. Хоча плівка поглинає близько 1% рентгенівського випромінювання, що дійшло до неї, екран має значно велику поглинаючу здатність (до 20%), а що виникло в екрані світіння практично повністю поглинається плівкою.

Тому, коефіцієнти посилення флуоресцентних екранів становлять декілька десятків та більше. Більшість екранів використовує люмінофор вольфрамат кальцію CaWO_4 , але в останні роки з'явилися нові, достатньо ефективні, з урахуванням солей натрію, гадолиния, лантану.

Однак розплатою за суттєве зменшення експозиції при використанні флуоресцентних екранів є суттєві втрати контрастної чутливості, тобто якість контролю. Причина цього у дуже великому розмірі зерна люмінофора.

Так, якщо середній розмір зерна у безекранної рентгенівської плівки становить не більше 0,5 мкм, у екранної плівки - 1-1,5 мкм, то у екранів близько 10 мкм [10].

Флуоресцентні екрани використовуються в комплекті двох екранів (переднього та заднього) можливо більш тісному контакті з плівкою. Товщина заднього екрану зазвичай більше за товщину переднього, т.к. його світіння, спрямоване до плівки меншою мірою послаблюється власним поглинання екрану.

Як правило, флуоресцентні екрани використовуються з спеціально призначеними типами плівок [10].

В останні роки з'явився тип екранів. йся своєрідним симбіозом двох вищеописаних. Це флуорометалеві екрани, поєднують шар свинцевої фольги з шаром люмінофора.

Такі екрани дають істотне зниження експозиції під час контролю, і, водночас, не погіршують або трохи погіршують якість зображення. Вперше ці екрани були випущені в Японії в 80-ті роки під назвою Kyokko SMP 308, а згодом і фірмою АГФА-ГЕВЕРТ за назвою RCF.

Остання випустила два типи плівок, спеціально призначених для роботи з цим екраном -СТРУКТУРИКС - D8 та СТРУКТУРИКС - D6 R (для швидкісної прояви). Екран RCF випускається форматами 10 x 24, 10 x 48 і 30 x 40 см [10].

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики екранних рентгенівських плівок

Тип плівки	Фірма	Чутливість Р-1	Середній градієнт	Примітка
РТ-1	АО Тасма	-	2,0-2,5	З екраном ВП-1
РМ-1		300-450	-	
РМ-6		300-450	2,0	
Ретина	ФРН	500-600	2,0-2,5	
Кронекс-4	Дюпон	450-500	2,0-2,5	
Структурикс D8	Агфа-Геверт	50-100	5,0	З екраном RCF
Структурикс D6R		30-100	6,0	

Таблиця 1.3 – Характеристики флуоресцентних та флуорометалевих підсилювальних екранів

Тип екрана	Люмінофор	Коефіцієнт підсилення
ЕУ-В1	CaWO ₄	30
ЕУ-В2	CaWO ₄	40
ЕУ-В3	CaWO ₄	50
ВП-1	CaWO ₄	80-100
ВП-2	CaWO ₄	130-160
ЕУ-И1	Y ₂ O ₂ S-Tb	50
RCF	CaWO ₄	5-30
Kyokko SMP308	CaWO ₄	До 25

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Методика проведення експериментів

2.1.1 Об'єкт контролю, вимоги до контролю та вибір схеми просвічування

Мета роботи у виборі оптимальних режимів радіографічного контролю експлуатованих трубопроводів діаметром $\varnothing 1020$ мм з товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Об'єктом контролю є кільцеве зварне з'єднання труб $\varnothing 1020 \times 10$ мм, $\varnothing 1020 \times 20$ мм, $\varnothing 1020 \times 30$ мм.

Вимоги контролю якості зварних з'єднань такі:

- категорія зварного з'єднання за ПНАЕ Г-010-89 III категорія;
- абсолютна чутливість за ПНАЕ Г-010-89 (табл. 13) $K = 0,3$ мм;
- оптична щільність почорніння знімка за ДСТУ-7512-82 не менше 1,5 е.о.п.;

Для проведення експерименту схема просвічування обрана за ДСТУ7512-82 [3], або фронтальне просвічування через дві стінки, оскільки передбачається, що контроль буде проводитися на експлуатованих трубопроводів. Схема просвічування представлена рис 2.1, де F - фокусна відстань, f – відстань від джерела випромінювання до поверхні контрольованого виробу. Користуючись даною схемою, просвічування зварного шва пройде за три експозиції з переміщенням джерела на 120 град.

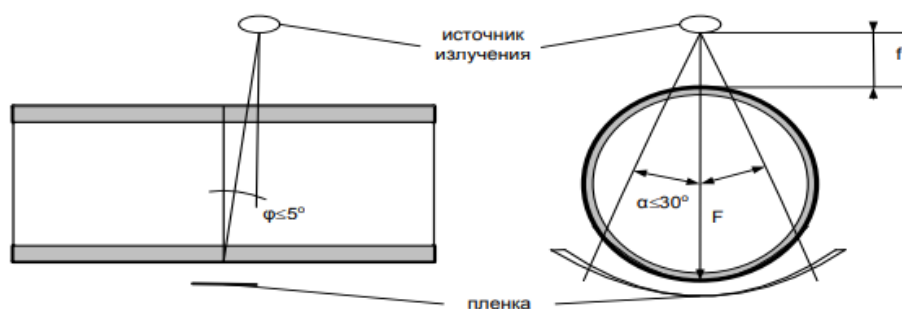


Рисунок 2.1 – Фронтальне просвічування через дві стінки

Переваги контролю (рис. 2.2):

- Контроль важкодоступних ділянок, недоступних для інших методів контролю. Радіографічний метод виявляє непровари, усадочні раковини, тріщини, а також вольфрамові, окисні і шлакові включення у зварних з'єднаннях.
- Максимально точне визначення місцезнаходження дефекту. Від радіографічного контролю не ховаються, навіть, найдрібніші дефекти зварних з'єднань.
- Висока швидкість і чутливість контролю.
- Рентгенографічний контроль зварних з'єднань-один з найдостовірніших методів контролю якості швів.
- За допомогою цього методу за лічені хвилини виявляються дефекти будь-якого рівня.
- Є можливість визначити точний розмір і розташування дефекту.
- Контроль займає мало часу і вимагає тільки рентген-апарат.
- Можливий контроль зварних з'єднань трубопроводів і будь-яких інших складних систем.



Рисунок 2.2 – Метод радіографічного контролю

Методика радіографічного контролю проста і багато в чому схожа із звичайною рентгенографією, яку ми робимо в поліклініці. Спочатку контролер або відповідальна особа встановлює необхідні налаштування апарату, враховуючи щільність металу. При цьому щільність впливає на кінцевий результат.



Рисунок 2.3 – Метод виїзного радіографічного контролю



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд рентгенографа

Далі готується зварне з'єднання. Треба видалити шлак, обробити валик шва і зачистити метал. Потім або деталь поміщається в апарат (якщо контроль стаціонарний в окремій кімнаті), або апарат поміщається на з'єднання (якщо контроль виїзний і використовуються компактні моделі), рис. 2.3, рис. 2.4.

Шов повинен знаходитися між випромінювачем і плівкою. Випромінювач включається, промені проходять крізь метал і потрапляють на плівку.

Ми отримуємо знімок, на якому видно усі дефекти. Тепер можна вимкнути апарат і почекати 10-20 секунд.

Потім деталь витягається з (чи рентгенограф знімається з металу).

Знімки віддаються фахівцеві для їх вивчення або залишаються у контролера.

2.1.2 Вибір енергії та джерела випромінювання

У ДСТУ 20426-82 передбачено джерела випромінювання для проведення радіографічного контролю. Під час проведення контролю за схемою зображеному на рис. 2.5 товщини, що просвічуються, дорівнюватимуть (подвійна номінальна товщина навколошовної зони) 20, 40, 60 мм. Для цього потрібний апарат у якого напруга на рентгенівській трубці не більше 250 кВ. Враховуючи, що контроль трубопроводів проводиться в польових умовах, варто звернути увагу на такі фактори як габарити, вага, а також ціну апарату.

У зв'язку з цим обрали імпульсний рентгенівський апарат АРІНА-7.

Характеристики даного апарату представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики апарату АРІНА-7 [10]

Найменування показника	Значення показника
Робоча напруга, кВ	250
Товщина просвічування з флуоресцентним екраном, мм	80
Товщина просвічування з допомогою рентгенівських плівок,	40
Експозиційна доза випромінювання на віддалі 0,5 м від апарату, Рн	1000
Габаритні розміри пульта, мм	380x270
Маса високовольтного блоку, кг	8,5
Маса пульта, кг	6,8



Рисунок 2.5 – Рентгенівський апарат АРІНА-7

АРІНА-7 забезпечує радіаційний контроль сталевих виробів товщиною до 80 мм з використанням флуоресцентних екранів, що підсилюють.

АРІНА-7 відрізняється малими габаритами та вагою, можливістю як панорамного, і спрямованого просвічування, можливістю живлення як від мережі змінного струму 220 В 50 Гц, так і від акумулятора 24 В миттєвої готовності до роботи, простотою в експлуатації, значно меншою вартістю в порівнянні з аналогами [10].

Апарат АРІНА-7 призначений для контролю товстостінних сталевих виробів, головним чином, газонафтопроводів великих діаметрів.

Він може також з успіхом використовуватися в суднобудуванні, атомній енергетиці та інших галузях [10].

2.2 Визначення фокусної відстані

Вибір фокусної відстані під час просвічування диктується наступними міркуваннями:

- із зменшенням фокусної відстані зростає геометрична нерізкість, що погіршує виявлення дефектів і якість знімка.

- з іншого боку, надмірне збільшення фокусної відстані невиправдано збільшує експозицію та погіршує продуктивність контролю [10].

Тому ясно, що існує оптимальна область фокусних відстаней, у якій чутливість контролю вже не залежить від фокусної відстані (визначається іншими факторами – плівкою), а експозиція не виходить за межі розумного.

Виходячи з умов обмеження геометричної нерізкості та геометричного збільшення розмірів дефектів, можна вказати нижню межу фокусних відстаней:

$$F_n = 5d, \text{ при } K \geq \Phi/2 \quad 2.1$$

або

$$F_n = d(1 + 2\Phi/K), \text{ при } K \leq \Phi/2, \quad 2.2$$

де: K – необхідна абсолютна чутливість контролю 0,3 мм;

Φ – діаметр фокусної плями трубки 2,5 мм;

d – товщина контрольованого матеріалу 10, 20, 30 мм.

$$F_H = 30 (1 + 2 * 2,5 / 0,3) = 530 \text{ мм.}$$

Нижня межа фокусної відстані $F_H = 530$ мм, а схема просвічування через дві стінки, отже, фокусна відстань приймаємо $F = 1030$ мм.

Зазначені критерії (2.1) та (2.2) відповідає вимог ДСТУ 7512-82.

2.3 Вибір плівки та підсилювальних екранів

Для контролю зварних з'єднань труб діаметром $\text{Ø}1020 \times 10$ мм, $\text{Ø}1020 \times 10$ мм, $\text{Ø}1020 \times 10$ мм за III категорією необхідно використовувати радіографічну плівку III класу.

При виборі плівок враховувалися фактори: необхідна чутливість та продуктивність контролю, а також щільність матеріалу, товщина деталі, універсальність, швидкість прояву та співвідношення ціна якість.

Вибір підсилювальних плівок залежить від напруги на рентгенівській трубці. Вибрали нові плівку Kodak Industrex HS800 та флуорометалевий екран AGFA Structurix RCF. Оскільки Kodak Industrex HS800 середньозерниста плівка використовувати з нею флуорометалевий екран AGFA Structurix RCF недоцільно, через те, що екрани з люмінофором значно зменшують чутливість [6]. Тому з плівкою Kodak Industrex HS800 буде використано свинцевий екран.

Рекомендована товщина свинцевого екрану 0,02-0,09 мм. З флуорометалевим екраном AGFA Structurix RCF використовуватимемо плівку III класу Agfa Structurix F8.

Порівняльні характеристики різних типів плівок та підсилюючих екранів наведено у табл. 2.2, табл. 2.3.

З аналізу таблиці 2.2 випливає, плівка Kodak Industrex HS800 порівняно з вітчизняним аналогом має кращу чутливість.

Плівка Agfa Structurix F8 характеризується високою контрастністю, дрібною зернистістю, високою швидкістю прояву.

Таблиця 2.2 – Порівняльні характеристики різних типів плівок III класу

Марка	Фірма	Чутливість SO.85-До, р-1		Коефіцієнт контрастності	Час проявлення, хв.
		Без екрана	З екраном		
PT-1	Тасма	25-27	-	4,2	4-6
HS800	Кодак	18-20	350	4,3	2,0
F8	Agfa	-	400	4,3	4,0

В більшості випадків спільно з такою плівкою застосовують флуорометалеві або флуоресцентні екрани. Вибір рентгенівської плівки AGFA F8 доцільний у тих випадках, коли контролю належить піддати бетонні та металеві вироби великої товщини [11].

Плівка Kodak Industrex HS800 – це універсальна плівка. Її можна використовувати для всіх методів експонування прямого випромінювання, свинцевим, флуоресціюючим або флуорометалевим екраном. Завдяки емульсійної технології T-Grain, плівка HS800 має високу швидкодією та контрастністю. Ця середньозерниста плівка може оброблятися як у хімікатах для проявочних машин з укороченого 5-хвилинного циклу, так і за 2-хвилинним циклом при ручній обробці.

Незалежно від умов роботи, знімки виходять з високим глянцем та якісним зображенням холодного чистого тону. Створена для завдань, де скорочена експозиція дає очевидні переваги, плівка HS800 рекомендується для проведення неруйнівного контролю таких об'єктів, як: товстостінні литі деталі; вироби з бетону; трубопроводи та установки на баржах; трубоукладачі; мостах.

Таблиця 2.3 – Порівняльні характеристики різних типів флуорометалевих екранів

Найменування	Коефіцієнт підсилення	Чутливість з плівкою Agfa F8, SO.85-До, р-1
СМП-1	25	500
RCF	20-40	400

З табл. 2.3 бачимо, що з двох аналогів флуорометалевий екран типу RCF має найкращі властивості.

Вибір стандарту чутливості. Вибір стандартів чутливості залежить від значення абсолютної чутливості. Абсолютна чутливість $K = 0,3$ мм, тому таблиці 3 ДСТУ 7512-82 вибираємо канавковий еталон №1 та таблиці 2 ДСТУ 7512-82 вибираємо дротяний еталон №2.

Форма та розмір канавочного еталона №1 та дротяного еталона №2 наведено на рис. 2.6, рис. 2.7 та в табл. 2.4 та табл. 2.5.

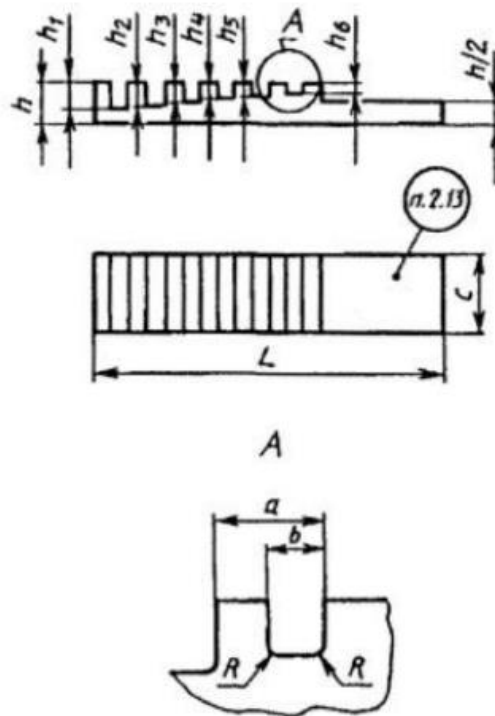


Рисунок 2.6 – Форма канавочного зразка

Таблиця 2.4 – Розміри канавкового зразка

Глибина канавок						Перед відх. Глибини канавок	R не більше	a Номінальне	b Номінальне	c Номінальне	h Номінальне	L Номінальне
H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆							
0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,05	0,1	2,5	0,2	10	2	30

Таблиця 2.5 – Розміри дротяного зразка

d_1	d_2	d_3	d_4	d_4	d_5	d_6	h
0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125	0,1	1,4

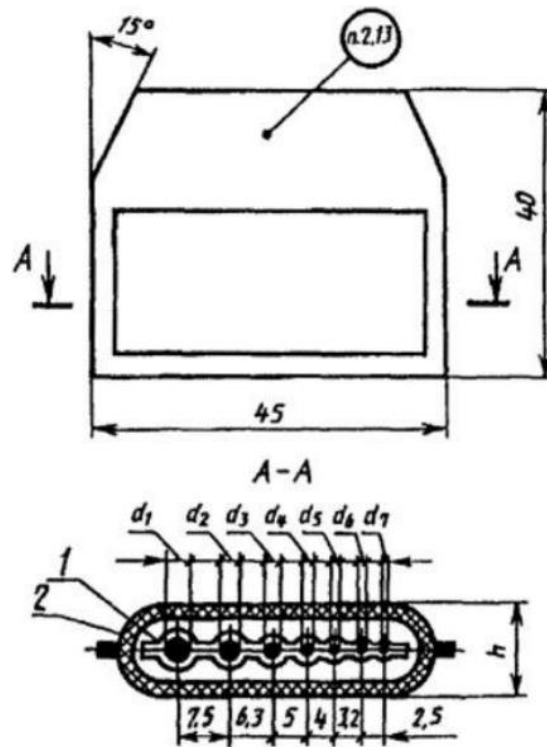


Рисунок 2.7 – Форма дотяного зразка

Процес фото обробки. Фотообробка радіограм включає:

- прояв,
- проміжний промивання,
- фіксування,
- промивання;
- сушіння.

Обробка здійснювалась ручним способом у спеціальних рамках.

Режими фотообробки та складі виявляють і фіксуючих розчинів вказані заводом - виробником на кожній пачці радіографічної плівки.

Необхідна умова якісної фотообробки радіограм сталість підтримки температур та концентрації обробних розчинів, температури сушіння, забезпечення необхідної освітленості приміщень за допомогою червоних ліхтарів. Для ручного процесу фотообробки час прояву зазвичай 2-6 хв. при температурі 16-24°C. Час фіксування дорівнює подвоєному часу прояви при температурі 15-18°C. Час промивання 20-25 хв. Час сушіння становить 20-25 хв при температурі 35 °C.

2.4 Визначення часу експозиції

Експериментальна частина полягала у визначенні оптимального часу експозиції. Значення оптичної густини потемніння на знімках мають бути не менше 1,5 е.о.п. (Основна вимога ДСТУ 7512-85 при якому знімки допускаються до розшифрування), а чутливість відповідала III класу.

Експериментальні дослідження проводили так: Зварні шви зразків діаметром Ø1020 мм із товщиною 10, 20, 30 мм із сталі 09Г2С просвічували через дві стінки імпульсним апаратом Аріна-7, змінюючи час експозиції. Дозу, одержану плівками Agfa Structurix F8; Kodak Industrex HS800 заміряли дозиметром ІД-02. Оптичну щільність потемніння фотооброблених знімків, вимірювали цифровим денситометром ДП 5004. Чутливість заміряли за допомогою негатоскоп НГС-1К.

Еталони чутливості встановлювали в касети разом із плівками.

Результати вимірювань внесено до табл. 2.6 – табл. 2.11.

За даними табл. 2.6 – табл. 2.11 збудували графіки залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій.

Графіки представлені рис. 2.8 – рис. 2.13.

Таблиця 2.6 – Результати просвічування F8+RCF, F=1030 мм, s=20 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
60	11	0,7	1,55	1,37
90	19	1,35	0,75	0,8
120	28	2,2	0,3	0,3
150	37	2,95	0,3	0,3

Таблиця 2.7 – Результати просвічування HS800+Pb, F=1030 мм, s=20 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
60	9	0,4	1,95	1,7
90	15	1,05	1,35	1,22
120	21	1,5	0,3	0,3
150	27	2,3	0,3	0,3

Таблиця 2.8 – Результати просвічування F8+RCF, F=1030 мм, s=40 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
120	15	1,25	0,65	0,69
150	21	1,6	0,3	0,3
180	27	2,1	0,3	0,3
210	33	2,55	0,3	0,3

Таблиця 2.9 – Результати просвічування HS800+Pb, F=1030 мм, s=40 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
120	11	0,9	0,85	0,9
150	18	1,4	0,32	0,35
180	23	1,9	0,3	0,3
210	27	2,45	0,3	0,3

Таблиця 2.10 – Результати просвічування F8+RCF, F=1030 мм, s=60 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
180	19	0,8	0,9	1,1
210	22	1,25	0,45	0,5
240	25	1,75	0,3	0,3
270	29	2,35	0,3	0,3

Таблиця 4.11 – Результати просвічування HS800+Pb, F=1030 мм, s=60 мм

Час експозиції, с	Доза випромінювання, mrad	Оптична щільність, е.о.п.	Чутливість, %	
			Канавочний еталон	Дротовий еталон
180	15	0,5	1,55	1,58
210	18	0,95	1,0	1,05
240	21	1,45	0,35	0,38
270	23	1,95	0,3	0,3
300	27	2,3	0,3	0,3

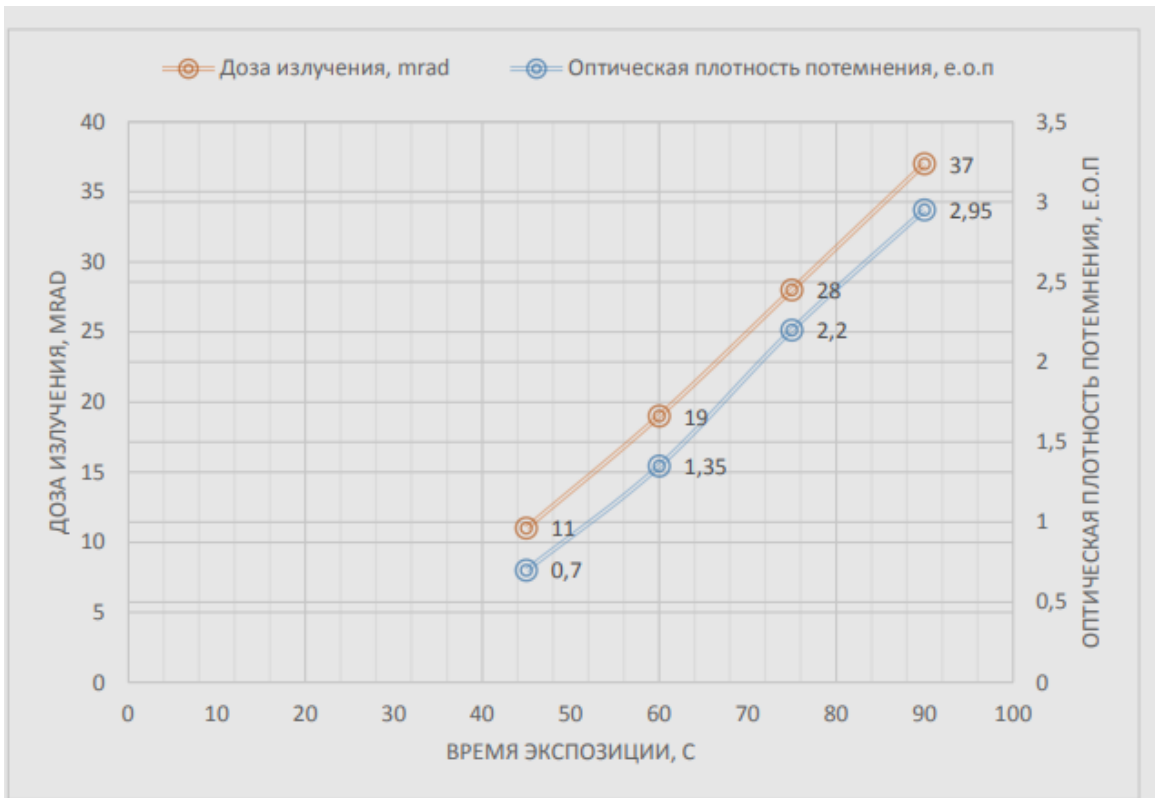


Рисунок 2.8 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (F8+RCF), F=1030 мм, s=20 мм

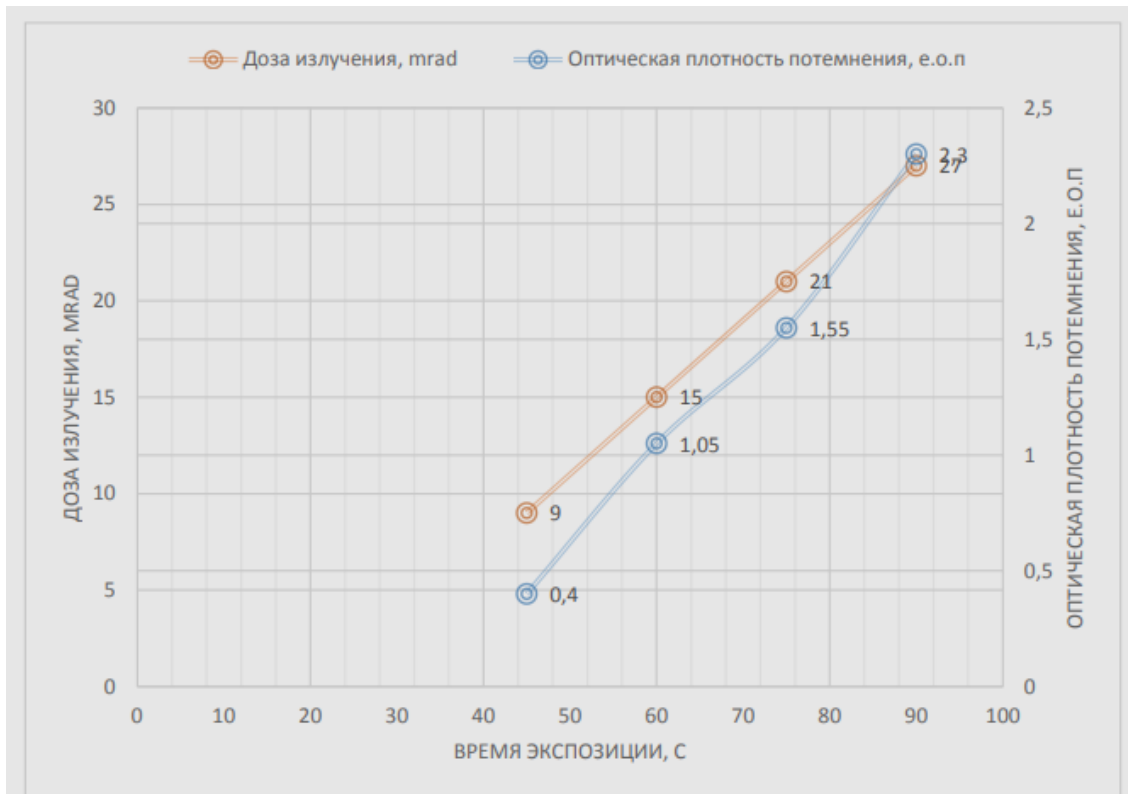


Рисунок 2.9 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (HS800+Pb), F=1030 мм, s=20 мм

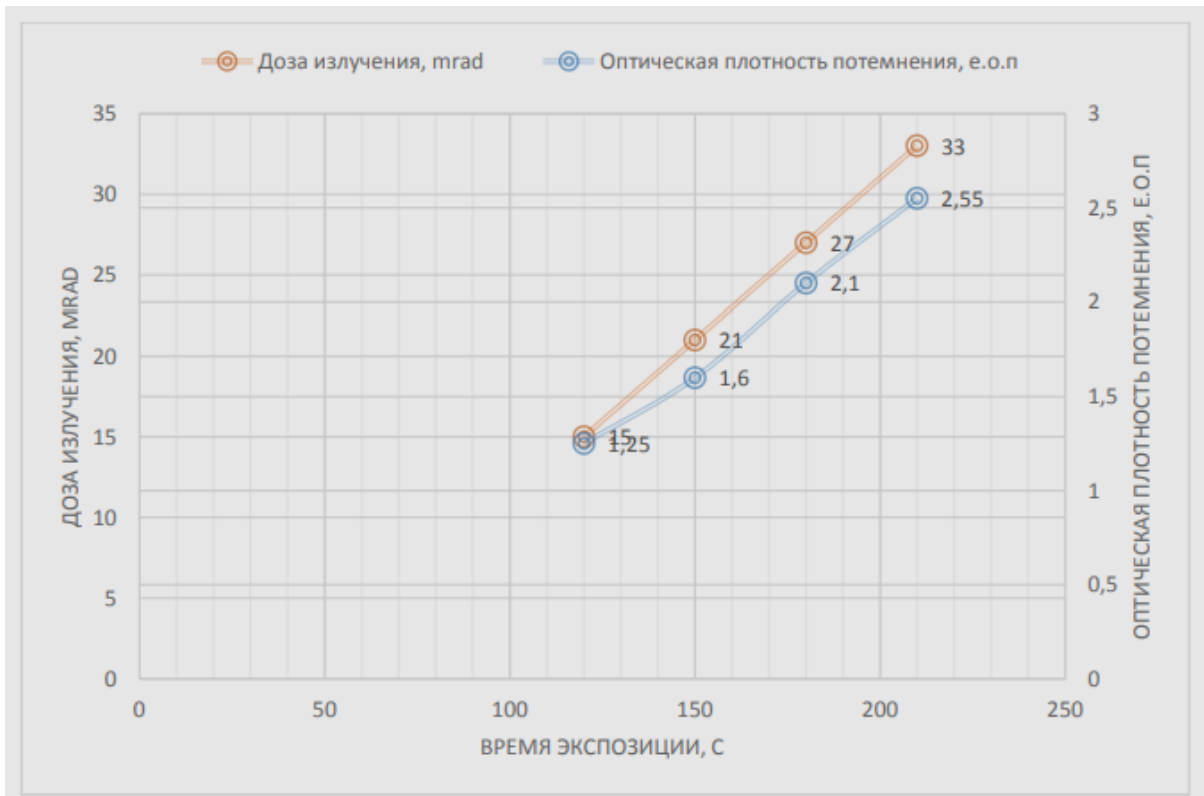


Рисунок 2.10 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (F8+RCF), F=1030 мм, s=40 мм

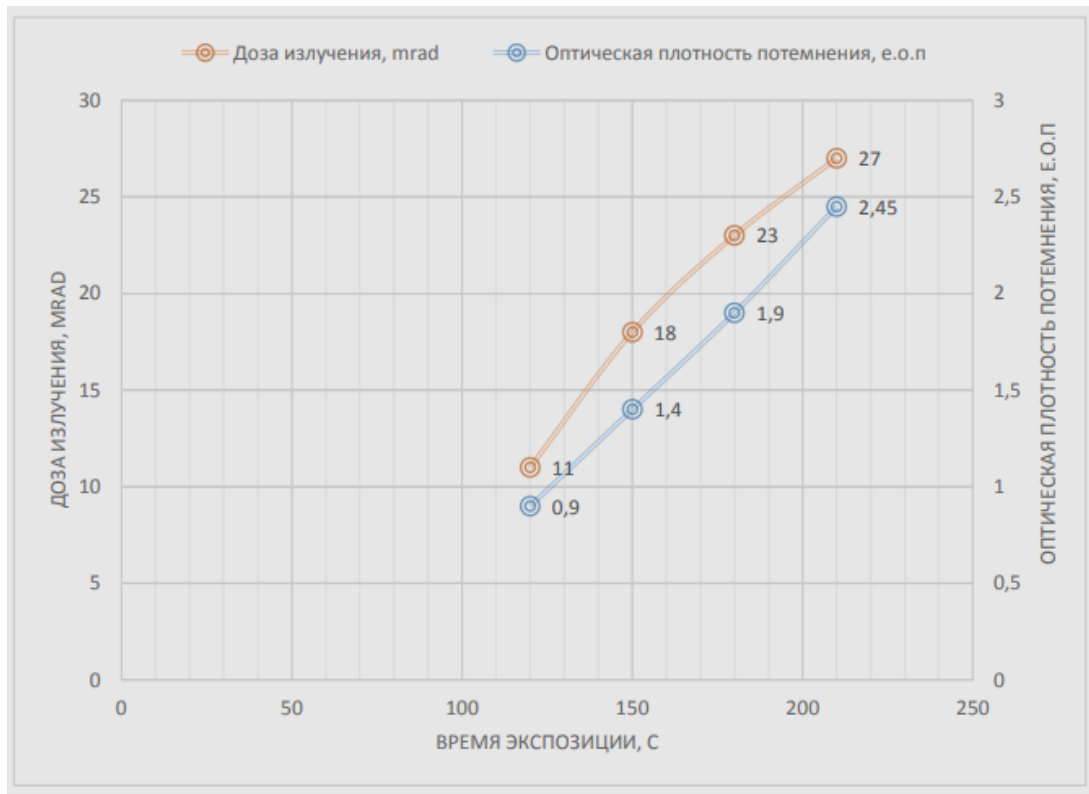


Рисунок 2.11 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (HS800+Pb), F=1030 мм, s=40 мм

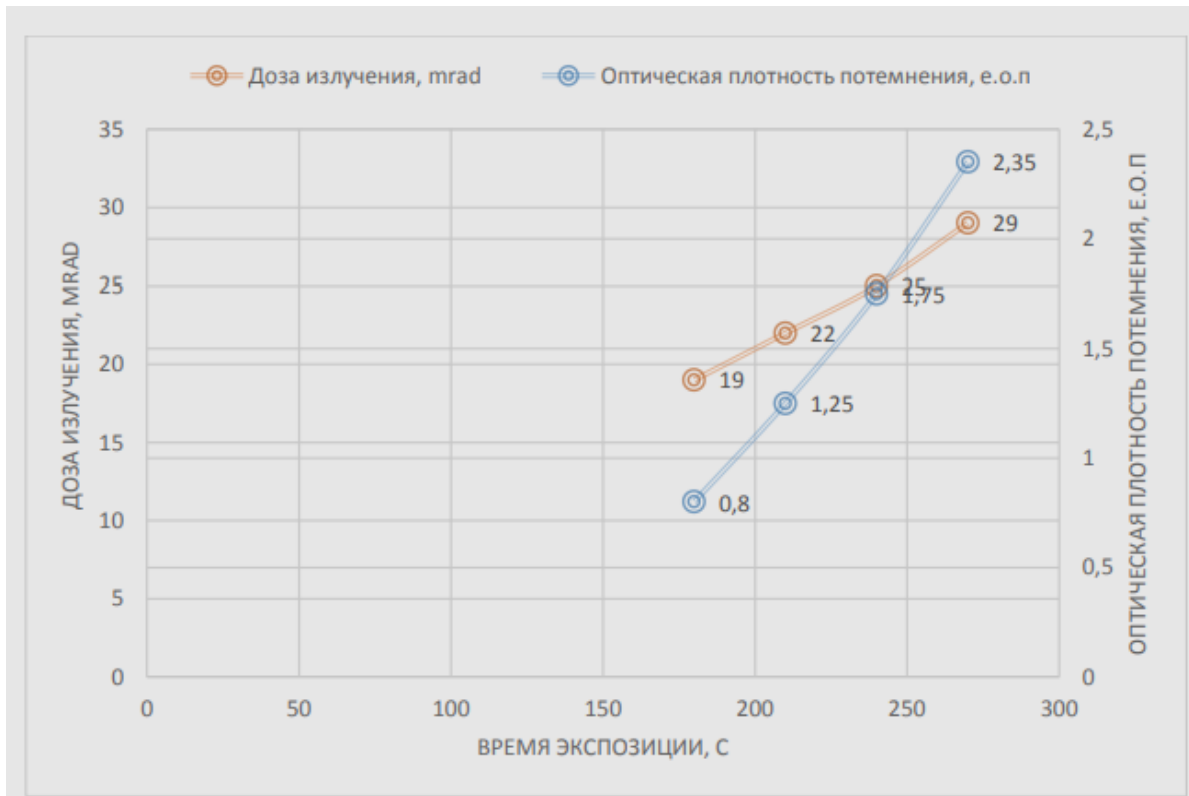


Рисунок 2.12 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (F8+RCF), F=1030 мм, s=60 мм

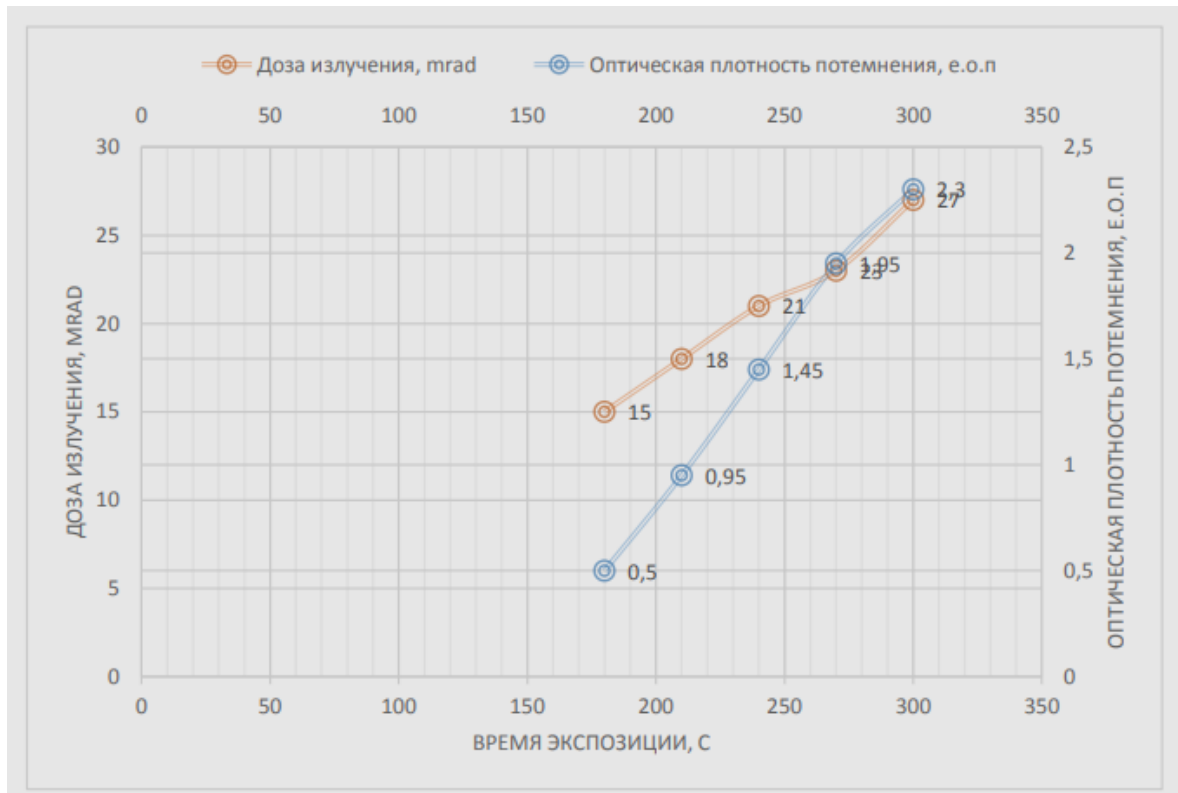


Рисунок 2.13 – Графік залежності щільності потемніння та дози випромінювання від часу експозицій (HS800+Pb), F=1030 мм, s=60 мм

На всіх графіках спостерігається лінійна залежність густини потемніння від часу експозицій. Це підтверджує, що ступінь потемніння радіографічної плівки, що знаходиться в полі випромінювання в деякому діапазон щільності потемніння пропорційна експозиційній дозі.

За графіками визначили час експозиції, за яких оптична щільність потемніння дорівнює 1,5 е.о.п. Отримані значення часу внесли до табл. 2.12.

Таблиця 2.12. – Передбачуваний оптимальний час експозицій

Товщина просвічування, мм	F8+RCF	HS800+Pb
20	63	74
40	142	155
60	225	243

За даними табл. 2.12 збудували номограму.

Ця номограма характеризує оптимальні режими радіографічного контролю кільцевих зварних з'єднань труб діаметром $\varnothing 1020$ мм, товщиною стінки 10, 20, 30 мм. Номограма зображено на рис. 2.14.

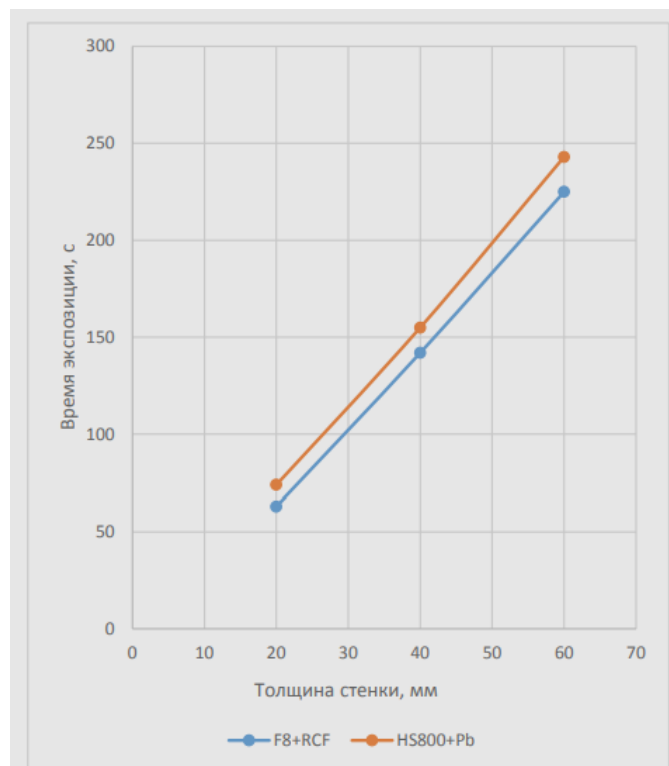


Рисунок 2.14. – Номограма експозицій під час просвічування сталі імпульсним рентгенівським апаратом Аріна-7, фокусній відстані $F=1030$ мм, щільності потемніння $D=1,5$, абсолютної чутливості $K = 0,3$ мм

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Методи аналізу автоматичного зварювання деталей

Зварних конструкцій

Структурою методу автоматичного зварювання труб великого діаметра є комерційні та підрядні організації галузей електроенергетики, теплоенергетики, організації з видобутку та транспортування нафти та газу, а також підприємства комунального господарства.

Для даних комерційних організацій критерієм сегментування є ремонт, будівництво. Виробляємо сегментування для реалізації технології зварювання деталей в умовах дії, що обурює магнітного поля та обладнання для даного процесу за критеріями ремонт та будівництво. Дана технологія в ремонті та будівництві трубопроводів є новим напрямком, яким до сьогодні ніхто не займався.

Основними сегментами є енергетична промисловість (нафтогазова галузь) та комунальне господарство, на них та буде спрямовано орієнтацію підприємства.

3.2 FAST – аналіз

FAST-аналіз виступає як синонім функціонально-вартісного аналізу. Суть цього методу базується на тому, що витрати, пов'язані з створенням та використанням будь-якого об'єкта, що виконує задані функції, складаються з необхідних для його виготовлення та експлуатації та додаткових, функціонально невиправданих, зайвих витрат, які виникають через введення непотрібних функцій, які не мають прямого відношення до призначення об'єкта, або пов'язані з недосконалістю конструкції, технологічних процесів, застосовуваних матеріалів, методів організації праці та ін.

FAST – аналіз складається із шести стадій:

1. Вибір об'єкта FAST-аналізу;
2. Опис головної, основних та допоміжних функцій, виконуваних об'єктом;
3. Визначення значущості виконуваних функцій об'єктом;
4. Аналіз вартості функцій, що виконуються об'єктом дослідження;
5. Побудова функціонально-вартісної діаграми об'єкта та її аналіз;
6. Оптимізація функцій, що виконуються об'єктом.

Стадія 1. Вибір об'єкта FAST-аналізу.

Об'єктом даного аналізу є об'єкт дослідження, а саме розробка обладнання для дугового зварювання намагнічених деталей.

Стадія 2. Опис головної, основних та допоміжних функцій, виконуваних об'єктом.

Головною функцією (призначенням) цієї технології є можливість отримання якісних зварних з'єднань в умовах дії поперечного магнітного поля, що обурює.

Як основні функції обладнання для дугового зварювання намагнічених деталей можна виділити схему інвертора для дугового зварювання в умовах намагніченості, що гарантує хороше формування та якість зварного шва.

До допоміжних функцій можна віднести можливість отримання зварного з'єднання без особливих зусиль, т.к. процес зварювання намагнічених деталей даним видом обладнання нічим не відрізняється від звичайного процесу зварювання вкритим електродом.

Стадія 3. Визначення значущості виконуваних функцій об'єктом.

Для оцінки значущості функцій будемо використовувати метод розміщення пріоритетів, запропонований Блюмбергом В.А. та Глуценко В.Ф.

В основу даного методу належить розрахунково-експертне визначення значущості кожної функції. Для початку необхідно побудувати матрицю суміжності функцій, якої визначимо найзначніші її.

Матриця суміжності функцій технології автоматичної зварювання в щілинну обробку методом один валик у шарі наведено в табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Матриця суміжності функцій технології автоматичної зварювання в щільну обробку методом один валик у шарі

	Можливість отримання якісних зварних з'єднань	Зварювання в умовах обурює дії магнітного поля	Відсутність громіздкого обладнання	Можливість отримання зварного з'єднання без особливих зусиль
Можливість отримання якісних зварних з'єднань	=	=		>
Зварювання в умовах обурює дії магнітного поля	=	=		>
Відсутність громіздкого обладнання	<	<	=	>
Можливість отримання зварного з'єднання без особливих зусиль	<	<	<	=

Примітка: «<» – менша; «=» – однакові функції за значимістю; «>» – більше значуща

Після визначення найважливіших функцій необхідно визначити кількісне співвідношення функцій. Для цього збудуємо матрицю кількісних співвідношень функцій.

Згідно з матрицею кількісних співвідношень отримали наступні відносні значення значущості функцій: можливість отримання якісних зварних з'єднань – 0,3125 (5/16), зварювання в умовах дії магнітного поля, що обурює, – 0,3125 (5/16), відсутність громіздкого обладнання - 0,21875 (3,5/16), можливість

отримання зварного сполуки без особливих зусиль – 0,15625 (2,5/16). Видно, що найбільш значущою функцією (призначенням) обладнання для дугового зварювання намагнічених деталей є її головне призначення - можливість отримання якісного зварного з'єднання.

Таблиця 3.2 – Матриця кількісних співвідношень функцій

	Можливість отримання якісних зварних з'єднань	Зварювання в умовах обурює дії магнітного поля	Відсутність громіздкого обладнання	Можливість отримання зварного з'єднання без особливих зусиль	Разом
Можливість отримання якісних зварних з'єднань	1	1	1,5	1,5	5
Зварювання в умовах обурює дії магнітного поля	1	1	1,5	1,5	5
Відсутність громіздкого обладнання	0,5	0,5	1,0	1,5	3,5
Можливість отримання зварного з'єднання без особливих зусиль	0,5	0,5	0,5	1,0	2,5
Сума					16

Примітка: 0,5 при "<"; 1,5 при ">"; 1 при «=» $\Sigma=16$

Стадії 4 та 5 - аналіз вартості функцій, що виконуються об'єктом дослідження та побудова функціонально-вартісної діаграми об'єкта, та її аналіз відповідно проводити не будемо, оскільки представлені функції даної технології зварювання носять загальний характер.

Стадія 6. Оптимізація функцій, які виконує об'єкт.

Устаткування для радіографічного контролю дозволяє скоротити загальний час та витрати на ремонт та будівництво в польових умовах за рахунок оптимізації процесу радіографічного контролю. У цьому способі застосовуються нові рентгенівська плівка та підсилюючий екран, що сприяє економії часу просвічування.

Порівняно з режимами, що використовуються на сьогоднішній день контролю, оптимізований контроль дозволяє отримувати якісні зварні з'єднання.

3.3 SWOT-аналіз

SWOT-аналіз – Strengths (сильні сторони), Weaknesses (слабкі сторони), Opportunities (можливості) та Threats (загрози) - це визначення сильних і слабких сторін проекту, виявлення можливостей та загроз щодо його здійсненню. Цей аналіз проводять для виявлення зовнішньої та внутрішньої середовища проекту Проводиться цей аналіз у кілька етапів.

Перший етап.

Даний етап полягає в описі сильних та слабких сторін проекту, у виявленні можливостей та загроз для реалізації проекту, які проявилися чи можуть виникнути у його зовнішньому середовищі.

До сильних сторін проекту належать:

- Стабільний перебіг процесу контролю – С1.
- Швидкість процесу - С2.
- Можливість отримати якісні фотооброблені знімки – С3.
- Можливість визначати становище дефекту – С4.
- Тривалість навантаження постійне і дорівнює 100% - С5.

До слабких сторін проекту належать:

- Радіаційні випромінювання – Сл.1.
- Заряджання касет у місцях з необхідним освяченням-Сл.2.

До можливостей проекту належать:

- Оптимізація технології просвічування - В1.
- Фінансова підтримка спонсора - В2.

До загроз відносяться:

- Ненадійність електроніки - У1.

Другий етап.

Даний етап полягає у виявленні відповідності сильних та слабких сторін науково-дослідного проекту зовнішнім умовам навколишнього середовища. Ця відповідність чи невідповідність повинні допомогти виявити ступінь необхідності проведення стратегічних змін.

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз причин виникнення та дефектів зварних стиків

В багатьох галузях промисловості зварювання є незамінним процесом, тому контролювати його на дефекти є актуальним у наш час. Різні ємності, де потрібна герметичність, скрізь застосовується зварювання, наприклад – бензобаки, бочки, труби тощо.

Перевагами такого способу скріплення різних металоконструкцій є економія металу, зменшення вартості, швидкість роботи та зміцнення конструкції в цілому. Зварювання - це процес з'єднання двох матеріалів разом шляхом подачі тепла через зовнішню (електричну дугу або нагрівачі) або внутрішнє утворення (тертя).

Багато хто вважає, що зварювання - це термін, який зарезервований для металів. Однак це неправда, оскільки такий матеріал, як пластик, також можна зварювати. Згадані тут типи зварювання досить вичерпні, але стосуються лише металів.

Дугове зварювання. Як випливає з назви, для дугового зварювання використовується електрична дуга для розплавлення матеріалів, перш ніж з'єднати їх. Електрична дуга підводиться між двома матеріалами за допомогою електрода (здебільшого не витратний електрод). Ця електрична дуга може створити температуру вище 3500 ° C, що є достатньо високим, щоб розплавити високоміцні метали, як вуглецева сталь.

Цей метод також використовує захисний газ у поєднанні з дуговим зварюванням. Це відбувається тому, що атмосферне повітря може взаємодіяти з басейном зварного шва і викликати окислення.

Існують різні типи дугового зварювання, такі як екрановане зварювання металевими дугами, зварювання з флюсовою дугою, дугове зварювання, зварювання плазмовою дугою тощо.

Переваги дугового зварювання:

- Підходить для швидкісних зварних швів
- Простий зварювальний апарат
- Переносність в результаті простого обладнання
- Може працювати на змінного чи постійного струму
- Вищі температури

Недоліки дугового зварювання: -

Не підходить для зварювання тонких металів

- Потрібні кваліфіковані зварювальники

- Не можна використовувати для реакційноздатних металів, таких як Al або Ti

Зварювання MIG (Металевим інертним газом) MIG або металеве інертне газове зварювання - ще один спосіб зварювання, який використовує електричну дугу для створення зварних швів.

Однак у порівнянні з дуговим зварюванням MIG потрібен витратний електрод для з'єднання металів. Споживний електрод - це метал, який подає електроенергію до зварного з'єднання. Однак сам електрод зазнає плавлення, коли він знаходиться біля басейну зварного шва. Отже, він споживається в процесі зварювання.

При зварюванні MIG розплавлений електрод полегшує з'єднання двох металів. Отже, MIG ідеально підходить для з'єднання різних металів. Захисний газ також подається через зварний пістолет, щоб гарантувати, що зварний басейн не взаємодіє з атмосферним повітрям.

Переваги зварювання MIG:

- Створює високоякісні зварні шви
- Незначний бризок бризок
- Можна використовувати для з'єднання різних металів
- Може бути повністю або напівавтоматично
- Хороша швидкість зварювання

Недоліки зварювання MIG:

- Непридатний для зварювання зовні
- Непридатний для товстих металів

- Необхідна підготовка металу

Зварювання TIG (Інертним газовим зварюванням вольфраму). Для зварювання вольфрамового інертного газу використовується вольфрамовий електрод для створення дуги між металами.

Зварювання TIG - це невитратний електродний спосіб зварювання, тому вольфрам не споживається при цьому. Для зварювання TIG також не використовується жодна форма флюсу або шлаку для екранування. Натомість інертний газ використовується як захисний засіб у всьому процесі. Аргон - найчастіше використовується інертний газ при зварюванні TIG.

Зварювання TIG може працювати як на джерелах живлення змінного та постійного струму. Однією з найбільших переваг зварювання TIG є те, що його можна використовувати для зварювання кольорових металів, таких як алюміній, мідь, магній, мідь, нікель, титан тощо.

Переваги зварювання TIG:

- Дуже чисті шви
- Запропонуйте високий ступінь контролю зварювальнику
- Можна використовувати з наповнювачем або без нього
- Це можна зробити вручну або автоматичними методами
- Створює міцні шви

Недоліки зварювання TIG:

- Витрата часу
- Потрібні кваліфіковані зварювальники
- Не можна використовувати для більш товстих металевих з'єднань.

Причина активного інтересу до цієї галузі полягає в тому, що кожна техніка, яку ми використовуємо для створення складних та звичайних виробів, потребує певної форми зварювання.

В якості об'єкту контролю в даному дипломі будуть використовуватись труби великого діаметру, які дуже широко використовуються для опалювальних та газових систем або для прокладки водопроводів. Сфери, в яких використовуються труби великого діаметру:

- промисловість і важке машинобудування;
- теплоцентралі; - мостобудування (опори);
- суднобудування;
- водовідведення і каналізація;
- бурові свердловини та ін.

Труби великого діаметру використовуються для будівництва магістральних нафто- і газопроводів у північній кліматичній зоні, а також прибережних і польових трубопроводів, які транспортують нафтогазові продукти з підвищеним рівнем сірководню.

Нафтогазові труби (рис. 4.1) використовуються для будівництва газо- і нафтопроводів та водопроводів, тоді як труби малого діаметра використовуються для систем опалення, в сільськогосподарському секторі та будівництві.



Рисунок 4.1 – Нафтогазова труба

Труби великого діаметру найкраще підходять і перевірені в наступних випадках застосування: водопроводи; іригаційні трубопроводи; підземні та наземні резервуари для зберігання; бункери; установки технологічного охолодження води для промислових заводів та електростанцій; труби стічних вод; реконструкція підземних труб; труби для переробки шламу (наприклад, гірничодобувна промисловість); трубопроводи для охолодження води та зливу для електростанцій; приймання морської води та розсол для установок для

опріснення морської води; викиди морських стічних вод; морські трубопроводи питної води; морські трубопроводи для збору стічних вод встановлені на морі.

На рисунку 4.2 показано використання техніки для транспортування, навантаження і переміщення труб великих діаметрів.



Рисунок 4.2 – Використання техніки для транспортування, навантаження і переміщення труб великих діаметрів

Існує багато типів стикових зварних швів, але всі підпадають під одну з цих категорій: односварні стики, подвійний зварений стиковий стик та відкриті чи закриті стикові стики. Односварний стик - це назва з'єднання, яке було зварене лише з одного боку. Подвійне зварне стикове з'єднання створюється, коли зварний швар зварений з обох сторін.

При подвійному зварюванні глибина кожного зварного шва може дещо змінюватися. Закритий зварний шар - це тип з'єднання, в якому два шматки, які будуть з'єднані, торкаються в процесі зварювання.

Відкритий зварювальний шар - це шарнір, де ці шматки мають невеликий зазор між ними в процесі зварювання. Квадратний паз - це стиковий зварювальний шар, причому два шматки є плоскими та паралельними один одному. Цей шарнір простий у приготуванні, економічний у використанні та забезпечує задовільну міцність, але обмежений товщиною стику. Закритий зварний квадратний шов - це тип стику прямокутної форми, що не має проміжків між шматками.

Цей тип з'єднання є загальним для газота дугового зварювання. Для більш товстих з'єднань край кожного елемента з'єднання повинен бути підготовлений до певної геометрії, щоб забезпечити доступність зварювання та забезпечити бажану міцність зварювання. Отвір або зазор у корені стику та включений кут канавки повинні бути обрані таким чином, щоб вимагати найменшої кількості зварного металу, необхідного для забезпечення доступу та відповідності вимогам міцності. Для квадратних стиків зазвичай використовується тільки метал товщиною до 4,5 мм.

На рисунку 4.3 показані основні види форм стиків.



Рис. 1.3 Геометрія стиків

Якщо дві деталі зварені в місці примикання їх країв і розташовані під певним кутом (найчастіше 90°), з'єднання називають кутовим. Його використовують при виготовленні тари, захисних та інших виробів, які не піддаються значним навантаженням. Труби зварних швів виготовляють за різними вимогами та в різних ситуаціях зварювання.

Місце зварювання продиктовано роботою. Загалом позиція є фіксованою, але у розумних випадках її можна прокатати для роботи на плоскому положенні. Позиції та процедури зварювання труб викладені нижче.

На рисунку 4.3 зображені ілюстрації позицій зварювання труб.



Рисунок 4.3 – Ілюстрації позицій зварювання труб

Дефекти зварювання (рис. 4.4) можна визначити як нерівності, що утворюються в даному металі зварювання через неправильний процес зварювання або неправильні схеми зварювання тощо.

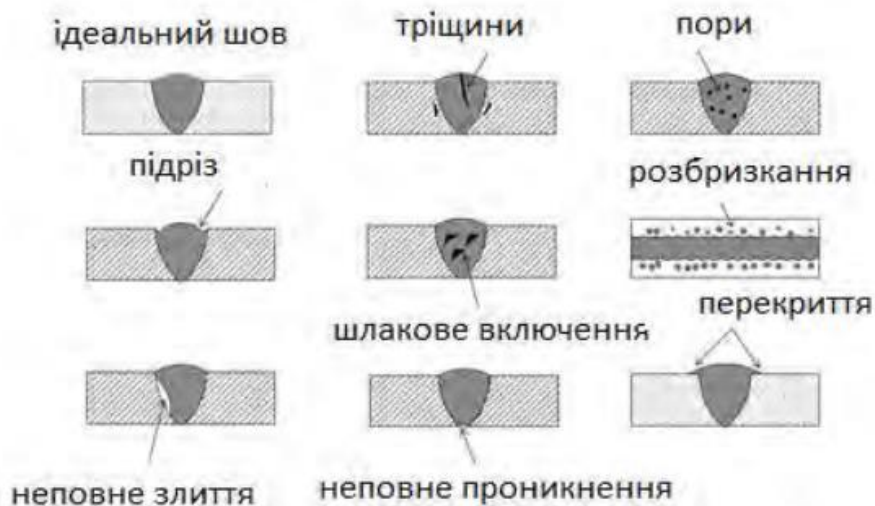


Рисунок 4.4 – Різні види дефектів зварного шва

Дефект може відрізнитися від бажаної форми, розміру та розміру зварювального шару. Дефекти зварювання можуть виникати як зовні, так і всередині металу зварного шва. Деякі дефекти можуть бути допущені, якщо дефекти знаходяться в допустимих межах, але інші дефекти, такі як тріщини, ніколи не приймаються.

Згідно ДСТУ дефекти зварювання можна класифікувати на два типи як зовнішні та внутрішні дефекти [4]: Зовнішні дефекти зварювання: 1. Зварювальна тріщина. 2. Підріз 3. Бризок 4. Пористість 5. Перекриття 6. Кратер.

Дефекти внутрішнього зварювання: 1. Шлакове включення. 2. Неповний синтез. 3. Розтріскування намиста. 4. Невиконана канавка або неповне проникнення. Нижче перераховані різні типи зовнішніх дефектів, їх причини та засоби усунення: 1. Зварювальна тріщина Це самий небажаний дефект з усіх інших дефектів зварювання.

Зварювальні тріщини можуть бути присутніми на поверхні, всередині зварювального матеріалу або в зонах впливу тепла. Тріщини можуть також з'являтися при різних температурах. Гаряча тріщина - вона більш помітна під час кристалізації зварних з'єднань, де температура може піднятися більше 10 000 градусів Цельсія.

Холодна тріщина - цей тип тріщин виникає в кінці зварювального процесу, де температура досить низька. Іноді холодна тріщина помітна через кілька годин після зварювання або навіть через кілька днів.

Причини виникнення тріщини зварювання:

- Погана пластичність даного основного металу.
- Наявність залишкового напруги може спричинити тріщини на металі зварного шва.
- Жорсткість з'єднання, що ускладнює розширення або стискання металів.
- Якщо високий вміст сірки та вуглецю, то також можуть з'явитися тріщини.
- Використання водню в якості екрануючого газу при зварюванні чорних матеріалів.

Коли основа металу плавиться далеко від зони зварного шва, тоді утворюється канавка у формі виїмки, тоді цей тип дефекту відомий як підріз (рис. 4.5). Причини виникнення підрізу: якщо напруга дуги дуже велике, може виникнути цей дефект; якщо ми використовуємо неправильний електрод або якщо кут електрода неправильний, то також може утворюватися дефект; використання великого електрода також не доцільно; висока швидкість електрода також є однією з причин цього дефекту.

Засоби захисту від Undercut:

- Уменшіть довжину дуги або уменшіть напругу дуги.
- Тримайте кут електрода від 30 до 45 градусів за допомогою стоячої ноги.

- Діаметр електрода повинен бути невеликим.

- Уменшіть швидкість ходу електрода.

Причини виникнення пористості:

- Це відбувається, коли електрод не покритий належним чином.

- Використання довшої дуги також може збільшити її шанси.

- Підвищені зварювальні струми.

- Іржа або масло на зварювальній поверхні.

Дефекти внутрішнього зварювання Нижче перераховані різні типи внутрішніх дефектів зварювання, їх причини та засоби усунення:

Якщо в шві є якийсь шлак, то це впливає на в'язкість і металеву зварюваність даного матеріалу. Це знижує структурні показники зварного матеріалу. Шлак утворюється на поверхні зварного шва або між зварювальними витками.

Причини шлаку:

- Шлак утворюється, якщо щільність зварювального струму дуже мала, оскільки не забезпечує необхідну кількість тепла для розплавлення металеві поверхні.

- Якщо швидкість зварювання занадто швидка, то також може виникнути шлак.

- Якщо край зварної поверхні не очищений належним чином, також може утворюватися шлак.

- Неправильний кут зварювання та швидкість ходу зварювального стержня.

Неповний дефект зварювального проникнення. Ці дефекти трапляються лише в стикових швах, де паз металу не заповнений повністю. Його також називають дефектом неповного проникнення.

4.2 Характеристики методів неруйнівного контролю зварних швів

Методи контролю зварних з'єднань Згідно ДСТУ на сьогоднішній день використовують наступні методи контролю [4]. Це руйнівний та неруйнівний методи. Так як в даному дипломному проекті ми розглядаємо лише неруйнівні методи контролю, то існують наступні методи[5]:

- Візуально-оптичний метод.
- Ультразвуковий метод. –
- Контроль на герметичність.
- Радіаційний метод.
- Магнітний метод.
- Капілярний метод та інші

Візуально-вимірвальний контроль зварних швів. Цей метод контролю є найпоширенішим, так як не потребує ніяких затрат та особливих зусиль, але за рахунок цього, якість такого контролю не є ідеальною, тому що присутній людський фактор та немає можливості виявити внутрішні дефекти. На рисунку 4.5 показано реалізацію даного методу контролю.



Рисунок 4.5 – Процес візуального контролю зварного з'єднання

Контроль на герметичність. За допомогою такого виду контролю контролюють різні ємності та трубопроводи, де необхідна герметичність. Суть перевірки полягає у створенні тиску всередині ємності або труби [6].

Тиск збільшують в 1.5 – 2 рази в порівнянні з робочим. Відбувається це на протязі близько 10 хв. Потім експерт обходить зону перевірки.

Ультразвуковий метод контролю. Ультразвукове неруйнівне тестування, також відоме як ультразвукове NDT або просто UT, є методом характеристики товщини або внутрішньої структури досліджуваного зразка за допомогою використання звукових хвиль високої частоти.

На рисунку 4.6 показано принцип роботи ультразвукового методу контролю [7].

Частоти або крок, які використовуються для ультразвукового тестування, у багато разів перевищують межу слуху людини, найчастіше в діапазоні від 500 КГц до 20 МГц. У промислових сферах широко застосовується ультразвукове тестування на метали, пластмаси, композити та кераміку. Єдиними поширеними інженерними матеріалами, непридатними для ультразвукового тестування звичайним обладнанням, є вироби з дерева та паперу.

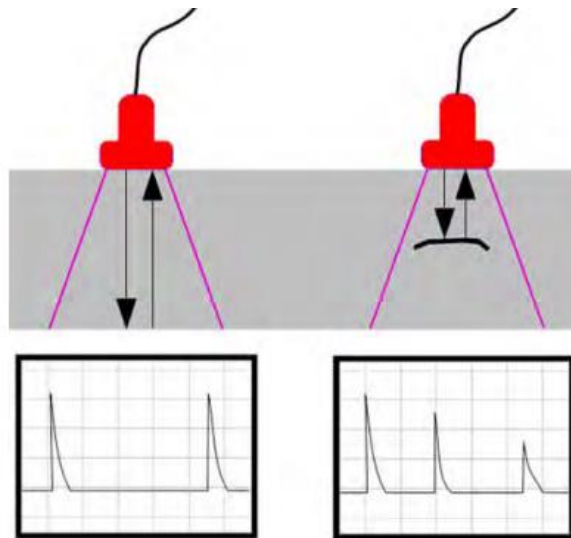


Рисунок 4.6 – Принцип роботи ультразвукового неруйнівного контролю

Зліва: Зонд посилає звукову хвилю в тестовий матеріал. Є два показання: один від початкового імпульсу зонда, а другий через відлуння задньої стінки.

Справа: Дефект створює третю індикацію і одночасно зменшує амплітуду індикації задньої стінки. Звукові хвилі високої частоти дуже спрямовані, і вони будуть мандрувати через середовище (як шматок сталі або пластику), поки не стикаються з кордоном з іншим середовищем (як повітря).

Аналізуючи ці відображення, можна виміряти товщину досліджуваного зразка або виявити докази тріщин або інших прихованих внутрішніх недоліків.

На рис. 4.7 показаний процес контролю зварних з'єднань.



Рисунок 4.7 – Процес контролю зварного з'єднання

Цей метод випробування може бути використаний на чорних і кольорових матеріалах, часто підходить для випробування більш товстих ділянок, доступних лише з одного боку, і часто може виявляти більш тонкі лінії або більш дрібні дефекти, які можуть бути не так легко виявлені рентгенографічним тестуванням. При ультразвуковому дослідженні над обстежуваним об'єктом передається ультразвуковий перетворювач, підключений до діагностичної машини. Перетворювач, як правило, відокремлюється від об'єкта випробування куплантом (наприклад, маслом) або водою, як при випробуванні на занурення. Існує два способи прийому ультразвукової форми хвилі, відбиття та ослаблення. У режимі відображення (або імпульсного відлуння) перетворювач виконує як відправлення, так і приймання імпульсних хвиль, оскільки "звук" відбивається назад до пристрою. Відбите ультразвукове дослідження надходить від інтерфейсу, наприклад задньої стінки об'єкта або від недосконалості всередині об'єкта.

Діагностична машина відображає ці результати у вигляді сигналу з амплітудою, що представляє інтенсивність відображення та відстань, що представляє час приходу відображення. В режимі ослаблення (або через передачу) передавач посиляє ультразвук через одну поверхню, а окремий приймач виявляє кількість, яка досягла його на іншій поверхні після проїзду

через середовище. Недосконалість або інші умови в просторі між передавачем і приймачем зменшують кількість переданого звуку, тим самим виявляючи їх наявність.

Використання купланта збільшує ефективність процесу за рахунок зменшення втрат енергії ультразвукової хвилі за рахунок поділу між поверхнями. Ультразвуковий контроль зварювань Однією з найбільш корисних характеристик ультразвукового тестування є його здатність визначати точне положення розриву в зварному шві. Цей метод тестування вимагає високого рівня підготовки та компетентності операторів і залежить від створення та застосування відповідних процедур тестування.

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1.1 Основні небезпеки у надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях нормується ДСТУ Р 22.0.01-94 та ДСТУ Р 22.0.07-95 [7, 8]. Ймовірними надзвичайними ситуаціями, які можуть виникнути під час проведення даного наукового дослідження, є: руйнування будівель та/або споруд; пожежі.

Руйнування будівель та/або споруд.

Руйнування будівель та споруд може бути наслідком вибуху лабораторного обладнання через його несправність, або через відсутність контролю за технічним станом конструкції.

Перші ознаки руйнування будівлі - це тріщини, які починають виявлятися в наслідок механічного впливу, вібрації обладнання тощо.

За найменших ознак обвалення необхідно сховатися в місцях, де мало ймовірно ураження уламками (дверні отвори, кути). Рух у напівзруйнована будівля дуже небезпечна, так як її руйнування може продовжитись. У зв'язку з цим необхідно привернути до себе увагу рятувальників криками і чекати на допомогу. Забороняється повертатися у зруйноване будова за майном. Безпечна відстань від будівлі, що руйнується – відстань, що дорівнює його висоті.

Пожежна безпека.

Можливі причини загоряння:

- несправність струмопровідних частин установок;
- робота з відкритою електроапаратурою;
- короткі замикання у блоці живлення;
- недотримання правил пожежної безпеки;
- наявність горючих компонентів: документи, двері, столи, ізоляція кабелів тощо.

Заходи щодо пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, експлуатаційні та режимні.

Для запобігання виникненню пожежі від коротких замикань, перевантажень і т. д. необхідно дотримання наступних правил пожежної безпеки:

- виключення утворення пального середовища (герметизація обладнання, контроль повітряного середовища, робоча та аварійна вентиляція);
- застосування при будівництві та оздобленні будівель вогнетривких або матеріалів, що важко згорають;
- правильна експлуатація обладнання (правильне включення) обладнання у мережу електричного живлення, контроль нагріву обладнання);
- правильний утримання будівель та територій (виняток утворення джерела займання);
- навчання виробничого персоналу правилам протипожежної безпеки;
- наявність плану евакуації;
- дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при влаштуванні електропроводів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення;
- правильне розміщення обладнання;
- своєчасний профілактичний огляд, ремонт та випробування обладнання.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- повідомити керівництво (чергове).
- зателефонувати до відповідної аварійної служби або МНС.
- вжити заходів щодо ліквідації аварії відповідно до інструкції.

5.1.2 Організаційні заходи під час компонування робочої зони

Організаційні заходи.

Весь персонал повинен знати і суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Навчання персоналу техніки безпеки та виробничої санітарії

складається з вступного інструктажу та інструктажу на робочому місці відповідальною особою. Перевірка знань правил техніки безпеки проводиться начальником лабораторії після навчання робочому місці.

Перевірений заноситься в спеціальний журнал і відзначається після перевірки знань техніки безпеки Особи, що обслуговують електроустановки не повинні мати каліцтв та хвороб, що заважають виробничій роботі.

Стан здоров'я встановлюється медичним оглядом.

Для організації безпечної роботи з рентгенівською установкою виділяють 4 принципи:

- зменшення потужності джерел до мінімальних величин («захист кількістю»);
- скорочення часу роботи із джерелами («захист часом»);
- збільшення відстані від джерел до працюючих («захист відстанню»);
- екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання («захист екранами»).

«Захист кількістю» має на увазі під собою зменшення потужності бетатрону для того, щоб доза, отримана в результаті роботи, не перевищувала норм.

Для реалізації цього типу захисту, крім ПЗ, у пультовій кімнаті встановлений спеціальний пульт, який дозволяє знижувати до мінімуму рівень випромінювання. «Захист часом» ґрунтується на тих же закономірностях, як і «захист кількістю».

Скорочуючи термін роботи з комплексом, можна значною мірою зменшити дози опромінення працівників лабораторії. Так як бетатрон МІБ-9 нагрівається при довгому використанні, необхідно стежити за його температурними параметрами час роботи.

При перегріві співробітники лабораторії відключають установку, цим отримуючи «захист часом».

«Захист відстанню» має на увазі собою роботу на максимальному віддаленні джерела випромінювання.

Поглинена доза обернено пропорційна відстані, тому цей фактор дуже важливий. У лабораторії з оглядовим комплексом пульта кімната знаходиться на відстані від бетатрона, і осторонь основного пучка випромінювання.

«Захист екранами» – перекриття основного пучка випромінювання матеріалами, які поглинатимуть частину випромінювання. Для виготовлення екранів застосовують різні матеріали, які товщина визначається потужністю випромінювання. Пультів і є стіни з шаром свинцю та великою товщиною бетону, а також свинцеві двері, які закриваються на час роботи бетатрону. Свинець є одним з найкращих екранів для поглинання випромінювання.

Технічні заходи.

Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок та сталість розміщення предметів, засобів праці та документації.

Те, що потрібно для виконання робіт, частіше повинно розташовуватися в зоні легкої досяжності робочого простору.

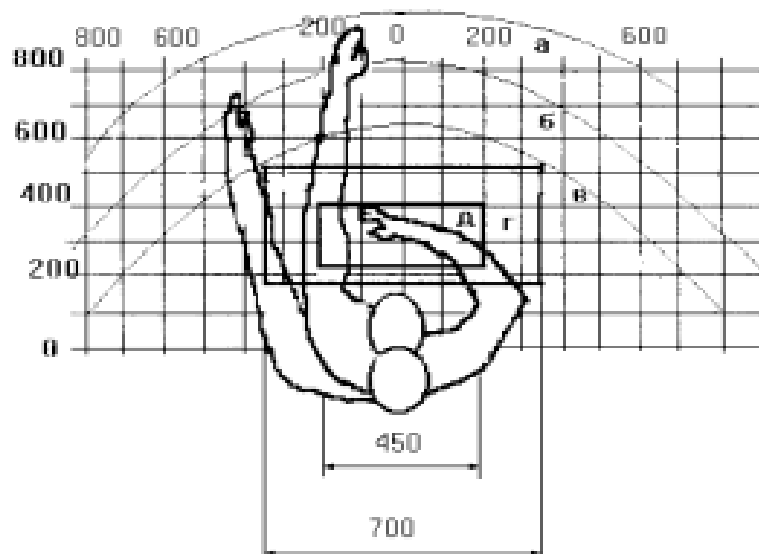


Рисунок 5.1 - Зони досяжності рук у горизонтальній площині:

- а - зона максимальної досяжності рук;
- б - зона досяжності пальців при витягнутій руці;
- в – зона легкої досяжності долоні;
- г - оптимальний простір для грубої ручної роботи;
- д – оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Оптимальне розміщення предметів праці та документації у зонах
Досяжність рук:

- дисплей персонального комп'ютера розміщується в зоні а (в центрі);
- клавіатура – у зоні г/д;
- системний блок розміщується у зоні б (праворуч);
- документація: у зоні легкої досяжності долоні – у (ліворуч) - література та документація, необхідна під час роботи; у шафі для зберігання - література, яка не використовується постійно, але потрібна у разі позаштатних ситуацій.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Таблиця 5.1 – Основні елементи, що формують небезпечні та шкідливі фактори при виборі оптимальних режимів радіографічного контролю

Найменування видів робіт та параметрів виробничого процесу	Чинники ДСТУ 12.0.003-74 СБТ		Нормативні документи
	Шкідливі	Небезпечні	
Обробка результатів вимірювань за комп'ютером	Вплив випромінювань (електромагнітне та радіочастотне); Недостатня освітленість робочої зони; Відхилення показників мікроклімату від нормальних; Вплив шуму	Електричний струм	СанПіН 2.2.4/2.1.8.055-96 [2]; ДСТУ 12.1.038-82 ССБТ [3]; СНіП 23-05-95 [4]; СанПіН 2.2.4.548-96 [5];

Продовження табл. 4.1

Найменування видів робіт та параметрів виробничого процесу	Чинники ДСТУ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативні документи
	Шкідливі	Небезпечні	
Робота з рентгенівською встановленням	Підвищений рівень іонізуючих випромінювань у робочій зоні	Електричний струм	НРБ-99/2009; СП 2.6.1.2523-09 [6]

Розглянемо виявлені чинники докладніше.

5.2.2 Обґрунтування заходів щодо захисту дослідника від дії небезпечних та шкідливих факторів

Вплив випромінювань. Екран та системні блоки виробляють електромагнітне випромінювання.

Основна його частина походить від системного блоку та відеокабелю. Згідно[2] напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо екрану за електричною складовою має бути не більше:

- у діапазоні частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в діапазоні частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Щільність магнітного потоку має бути не більше: в діапазоні частот 5Гц-2кГц – 250нТл; в діапазоні частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на організм необхідно виконувати такі заходи:

- відстань до монітора має становити не менше 50 см;
- не допускається використання мерехтливого монітора (потрібно використовувати монітор із частотою кадрів не менше 70 Гц);

- розташування верхнього краю монітора має розташовуватися на рівні очей;
- не допускається висвітлення екрана прямими яскравими джерелами світла;
- використання монітора з низькою роздільною здатністю;
- необхідні регулярні перерви у роботі.

Електричний струм. Залежно від умов у приміщенні небезпека ураження людини електричним струмом збільшується чи зменшується. Не слід працювати з комплексом в умовах підвищеної волоДСТУі (відносна вологість повітря тривало перевищує 75%), високої температури (понад 35°C), наявності струмопровідного пилу, струмопровідної підлоги та можливості одночасного дотику до тих, хто має з'єднання з землею металевим елементам та металевим корпусом електрообладнання.

Оператор установки працює з електроприладами: комп'ютером (дисплей, системний блок і т.д.) та периферійними пристроями. Існує небезпека електроураження у таких випадках:

- при безпосередньому дотику до струмоведучих частин у час ремонту частин оглядової установки;
- при дотику до нетоковедучих частин, що опинилися під напругою (у разі порушення ізоляції струмопровідних частин комп'ютера чи установки);
- при дотику зі підлогою, стінами, що опинилися під напругою;
- при короткому замиканні у високовольтних блоках: блоці живлення та блоці дисплейної розгортки.

Заходи щодо забезпечення електробезпеки бетатрону МІБ-9 та пов'язаного з ним комплексу зводяться до таких дій:

- відключення напруги з струмовідних частин, на яких або поблизу яких буде проводитися робота, та вжиття заходів щодо забезпечення неможливості подачі напруги до місця роботи;
- вивішування плакатів, що вказують місце роботи;
- заземлення корпусів усіх установок через нульовий провід;

- покриття металевих поверхонь інструментів надійною ізоляцією;
- недоступність струмопровідних частин апаратури (струмуючі частини та елементи необхідно закривати в непровідний струм корпусу).

Недостатня освітленість. Стомлюваність органів зору може бути пов'язана як із недостатньою освітленістю, так і з надмірною освітленістю, а також з неправильним напрямом світла. Приміщення з ЕОМ повинні мати природне та штучне висвітлення [4].

Для цього типу робіт мінімальна освітленість у лабораторії має становити 300-500 лк. Внаслідок виробничої необхідності робота у лабораторії проводиться без природного освітлення, ці умови узгоджені з органами державного нагляду за охороною праці.

Загальне висвітлення лабораторії має бути виконано у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, які розташовані осторонь робочих місць паралельно лінії зору працівників. Допускається розміщення лінії світильників штучне освітлення локально над робочими місцями. Для спільного освітлення необхідно застосовувати світильники з розсіювачами та дзеркальними екранами сітками або відбивачами, укомплектовані високочастотними пускорегулюючими апаратами. Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється.

Відхилення показників мікроклімату від нормальних.

Повітря робочої зони виробничих приміщень визначають наступні параметри: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря. Оптимальні та допустимі значення характеристик мікроклімату встановлюються відповідно до [5] та наведені в табл. 4.2.

Таблиця 5.2 – Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний та перехідний	23-25	40-60	0,1
Теплий	23-25	40	0,1

До заходів щодо оздоровлення повітряного середовища у виробничому приміщенні відносяться: правильна організація вентиляції та кондиціонування повітря, опалення приміщень.

Вентиляція може здійснюватися природним та механічним шляхом. У приміщення повинні подаватися такі об'єми зовнішнього повітря:

- при обсязі приміщення до 20 м³ на особу - не менше 30 м³ на годину на людину;
- при об'ємі приміщення більше 40 м³ на людину та відсутність виділення шкідливих речовин допускається природна вентиляція.

Параметри мікроклімату у використовуваній лабораторії регулюються системою центрального опалення, та мають наступні значення:

- вологість – 40%,
- швидкість руху повітря – 0,1 м/с,
- температура влітку -20...25 °С, взимку - 13...15 °С.

Підвищений рівень шумів. Підвищений шум погіршує умови праці, шкідливо вплив на організм людини, а саме, на органи слуху та на весь організм через центральну нервову систему

Внаслідок цього послаблюється увага, погіршується пам'ять, знижується реакція, збільшується кількість помилок при роботі. Шум у лабораторії створюється працюючим обладнанням оглядового комплексу (бетатрон та лінійки), установками кондиціонування повітря, освітлювальними приладами денного світла, а також проникати ззовні.

На робочому місці лаборанта та інженера лабораторії рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 дБ.

Для зниження рівня шумів бетатрон МІБ-9 укладено у спеціальний корпус, що послаблює навіть звукові коливання. Електронна частина та лінійки також закриті в спеціальний металевий корпус.

Підвищений рівень іонізуючого випромінювання. Захист персоналу та цивільного населення відповідно до нормативами [6] забезпечується конструкцією радіаційного захисту спеціально обладнаного приміщення, в якому розташовується експериментальна рентгенівська установка.

До роботи з оглядовим комплексом допускається попередньо навчений персонал групи А та Б.

Для інженерів лабораторії (персонал групи А) допустима ефективна доза становить 20 мЗв на рік у середньому за послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв на рік. Опромінення ефективною дозою понад 200 мЗв протягом року має розглядатися як потенційно небезпечне.

Особи, що зазнали такому опроміненню, повинні негайно виводитися із зони опромінення та прямувати на медичне обстеження. Наступна робота з джерелами випромінювання цим особам може бути дозволена тільки в індивідуальному порядку з урахуванням їхньої згоди щодо рішення компетентної медичної комісії.

Заходи для запобігання опроміненню вище за норму. Перед проведенням експерименту персонал заздалегідь зобов'язаний залишити приміщення з рентгенівською установкою, щільно закрити двері та переконатися, що усі необхідні умови безпеки виконані.

Робота рентгенівського апарату супроводжується звуковим сигналом з тимчасовим запасом 10 секунд. Таким чином, ймовірність знаходження персоналу в бункері під час роботи через розсіяність зведена до мінімуму. До названих заходів слід додати використання індивідуального нагрудного дозиметра.

Також для більшої безпеки перед приміщенням з боку входу виставляється знак "Обережно, радіація" і ведеться постійне відеоспостереження за приміщенням.

5.2.3 Екологічна безпека

Питання охорони екологічного стану Землі останніми роками піднімається все активніше. Збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, виснаження озонового шару та інші забруднення природи наводять до того, що в природі змінюються звичні для цього періоду умови проживання.

Електроніка та лінійки не несуть у собі великої екологічної погрози. Матеріали, з якими проводяться досліди, а саме: алюміній, сталь, залізо, цемент, деревина, вода, плексиглас – згодом не утилізуються, а залишаються для вторинного використання. Частина з них залишається як основа для подальшого дослідження, частина переробляється для подальшого використання у інших галузях.

Відповідно до [9], у разі виникнення аварії мають бути прийняті практичні заходи для відновлення контролю за джерелом випромінювання та зведення до мінімуму доз опромінення, кількості опромінених осіб, радіоактивного забруднення довкілля.

За радіаційної аварії або виявлення радіоактивного забруднення обмеження опромінення здійснюється захисними заходами, що застосовуються, як правило, до навколишньому середовищу та (або) до людини.

Оскільки оглядовий комплекс є джерелом штучно створеного випромінювання, для запобігання аварійних ситуацій передбачено 3 ступені швидкого ручного відключення установки, після якого випромінювання миттєво припиняється та небезпека екологічного забруднення та шкідливих впливів на людину зникає.

ВИСНОВКИ

Під час проведення радіографічного контролю зварних з'єднань товщиною 10-30 мм був проведений вибір джерела випромінювання з оптимальними радіографічними параметрами малогабаритний рентгенівський імпульсний апарат Аріна-7.

Для схема просвічування через дві стінки було розраховано фокусна відстань. За абсолютною чутливістю були підібрані зразки чутливості.

Проведено порівняльний аналіз радіографічних параметрів плівки Kodak HS800 та рентгенівського екрану Agfa RCF з їх аналогами.

В результаті проведених експериментів визначено оптимальне час експозиції для контролю зварних швів труб $\varnothing 1020$ мм, з товщиною стінки 10, 20, 30 мм.

Побудовано номограму експозицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козій Я.В., Козій В.З., Магеровський Д.Б. Процес електродугового зварювання габаритних зварних конструкцій: тези доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2023 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. С. 125 – 126.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Пулька Ч.В. Пути совершенствования технологии индукционной наплавки тонких стальных дисков/ Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблій, В.Н. Барановский [та ін.] // Междун. науч.-техн. и произв. журнал «Автоматическая сварка». 2015. № 5–6 (742). С. 64–67.
10. Пулька Ч.В. Математична модель оптимізації енерговитрат індукційного наплавлення / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.М. Барановський [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і енергетика АПК» / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. К., 2015. Вип. 226. С. 386–393.

11. Стельмах І.С. Перспективи використання методу плазмового зварювання для відновлення культиваторних лап / І.С. Стельмах, Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. 51. С. 182–186.

12. Pulka Ch.V. Ways of updating the technology of induction surfacing of thin steel disk / Ch.V. Pulka, O.N. Shably, V.M. Baranovsky [but other] // The Paton WELDING JOURNAL. Kiev, E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. May-June 2015. – № 5–6/2015. – Pg. 59–62.

13. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский, С.Л. Чиграй // Проблемы трибологии. Міжн. наук. журнал : Хмельницький нац.ун-т. 2015. № 4. С. 92–98.

14. Барановський В. Експериментальні дослідження контактного точкового зварювання деталей сільськогосподарських машин / Віктор Барановський // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2015. – Т. 4 (80). С. 111–118.

15. Барановский В.Н. Методы применения контактной точечной сварки в сельскохозяйственном машиностроении / В.Н. Барановский // Lucrări științifice, UASM. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2015. Vol. 45. – С. 191–195

16. Левченко О.Г. Охрана праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

17. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.

18. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.

19. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

20. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

21. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

22. Барановський В.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 8.05050401 – «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 86 с.

23. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з курсу «Безпека життєдіяльності». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 62 с.

24. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

25. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ