

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр БОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою моніторингу структури металу залізничних рейок»

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛТп-19
(шифр групи)

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Журавльов Ігор Сергійович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник _____ зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф. _____ Олександр БОВНА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент _____ зав. каф. ПМІ, д.т.н., проф. _____ Ольга ДМИТРИЄВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

_____ Олександр БОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Розробка електронного пристрою моніторингу структури металу залізничних рейок»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТп – 19

_____ **Ігор ЖУРАВЛЬОВ**
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____ **Олександр ВОВНА**
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ **Олександр ВОВНА**
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ **Іван ЛАКТИОНОВ**
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ **Олександр ШТЕПА**
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Журавльов Ігор Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою моніторингу структури металу залізничних рейок

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3.1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3.2	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз характеристик і параметрів моніторингу стану залізничних рейок		
2	Розробка вимірювального електронного пристрою акустичних шумів і швидкостей хвиль		
3	Розробка блоку обробки ультразвукових сигналів електронного пристрою		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ **Ігор ЖУРАВЛЬОВ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Олександр ВОВНА**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Журавльов, І.С. Розробка електронного пристрою моніторингу структури металу залізничних рейок / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 57 стор., 15 рис., 9 табл., 20 посилань.

Під час аналізу методів акустичного визначення структури матеріалу для дослідження поверхневого стану головки залізничних рейок запропоновано застосовувати акустичні шуми та визначати швидкість розповсюдження релеєвських хвиль, тому що цей метод має найбільшу величини чутливості щодо зміни інформативних параметрів вимірювального контролю. Під час експлуатації залізничних рейок має місце зниження їх властивостей завдяки зношенню головки, а також утворенню дефектів на поверхні та всередині сталі. Розроблений електронний пристрій вимірювання швидкості розповсюдження релеєвських і об'ємних ультразвукових хвиль, які діють у двох напрямках, що є взаємно-перпендикулярними, дозволяє ідентифікувати анізотропну властивість сталі залізних рейок.

У розробленому пристрої реалізовано спосіб визначення рівня шумової складової в об'єкті вимірювального контролю, який дозволяє компенсувати якість акустичного контакту. Це дозволить збільшити точність результатів вимірювання завдяки застосуванню рівня пролаза релеєвської хвилі та не потребує доступу до протилежної грані об'єкта вимірювального контролю.

Розроблено методику визначення швидкості розповсюдження релеєвських ультразвукових хвиль зі застосуванням еталону СО-2 та кореляційної залежності між формами вимірювальних вихідних сигналів перетворювача.

Ключові слова: залізнична рейка, дефект, ультразвукове коливання, вимірювання, рівень, шумова складова, компенсація, якість контакту.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК.....	9
1.1 Аналіз технологічних властивостей рейкової сталі.....	9
1.2 Аналіз зміни характеристик і параметрів залізничних рейок під час їх експлуатації.....	14
1.3 Аналіз методів контролю поверхневого шару катання головки залізничної рейки.....	19
2 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ АКУСТИЧНИХ ШУМІВ І ШВИДКОСТЕЙ ХВИЛЬ.....	21
2.1 Вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у сталі.....	21
2.2 Вимірювання рівня акустичної шумової складової сигналу під час розтягування рейки.....	28
3 РОЗРОБКА БЛОКУ ОБРОБКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ.....	36
3.1 Визначення величини швидкості акустичних коливань у сталі.....	36
3.2 Визначення величини акустичних шумів у сталій рейці під час її розтягування.....	39
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	51

ВСТУП

У теперішній час довжина залізних шляхів України складає 22,3 тисячі кілометрів, що є доволі великим обсягом металу. Введення до експлуатації залізничних рейок вимагає проведення надійних заходів щодо приймального вимірювального контролю якості матеріалів, а також періодичного здійснення перевірки експлуатаційних характеристик і параметрів.

Метал, який застосовується під час виготовлення залізничних рейок, забезпечує їх міцність, стійкість до утворення тріщини, високі показники стійкості до зношення та твердості, а також зменшення впливу пластичної деформації. Використання способів неруйнівного вимірювального контролю дозволить збільшити якість залізничних рейок під час їх виробництва в промислових умовах. У процесі експлуатації стан металевої головки рейки істотно зношується. Через істотний вплив навантаження від рухомого складу залізниці, що повторюється доволі багато разів, на поверхню головки металевої рейки виникає пластична деформація. Також має місце накопичування мікроскопічних дефектів, які обумовлюють утворення мікроскопічних і макроскопічних тріщини. Це є причиною виникнення поперечної тріщини головки залізничної рейки та, як наслідок, її остаточного руйнування.

Отже, для підвищення безпеки застосуванням рухомого складу залізниці необхідно здійснювати своєчасний моніторинг критичних змін у структурі шарів головки металевої рейки, а саме її поверхні та поверхневих шарів, що може показувати її граничний стан роботи. Одним з перспективних напрямків проведення моніторингу зміни структури головки металевих рейок є застосування вимірювального ультразвукового контролю для визначення інформативних параметрів зондування. До таких параметрів вимірювального контролю відносять визначення рівня акустичних шумів, а також вимірювання величини швидкості релеєвських, об'ємних і головних ультразвукових хвиль.

Встановлення кореляційного зв'язку між зміною параметрів ультразвукових коливань, а також структурою та станом металевої головки залізничних рейок є вельми актуальною науковою та практичною задачами, розв'язання яких дозволить суттєво збільшити якість виготовлення на виробництві металевий рейок та збільшити термін їх експлуатації.

Розробити технічну реалізацію способу визначення структури металевих рейок на базі кореляційного зв'язку інформативних вимірюваних характеристик і параметрів акустичної шумової складової вихідного сигналу, а також швидкості розповсюдження релеївських, поперечних і головних акустичних коливань.

1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

1.1 Аналіз технологічних властивостей рейкової сталі

Залізничні рейки типу Р65 виготовляють за вимогами Державного стандарту України ДСТУ 4344:2004 «Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови» [1]. Конструкція залізничних рейок повинна бути такою, що під час виробничої експлуатації можна здійснювати технічне обслуговування зі забезпеченням можливості відновлення конструктиву рейки завдяки фрезеруванню та шліфуванню її поверхні катання. Основні розміри поперечного перетину рейки типу Р65 наведено на рис. 1.1 [1]. У виробництві рейок застосовуються заготовки, які отримано під час безперервного лиття. Сталь, яка застосовують під час виготовлення, отримана зі застосуванням електричного лиття або киснево-конвертерного виробництва. Також сталь піддається позапічною обробкою та вакуумуванню [1]. Рейками загального призначення є рейки типу Р65, що мають категорію ДТ350. Рейки категорії ДТ350 виготовляють зі сталі 76Ф, хімічний склад якої наведено у табл. 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Кількісний склад хімічних елементів залізничної рейки

Хімічних елементів	Діапазон зміни частки за вагою, %
марганець	від 0,75 до 1,25
вуглець	від 0,71 до 0,82
ванадій	від 0,03 до 0,15
кремній	від 0,25 до 0,60
алюміній	не більше 0,004
сірка	не більше 0,020
фосфор	не більше 0,020

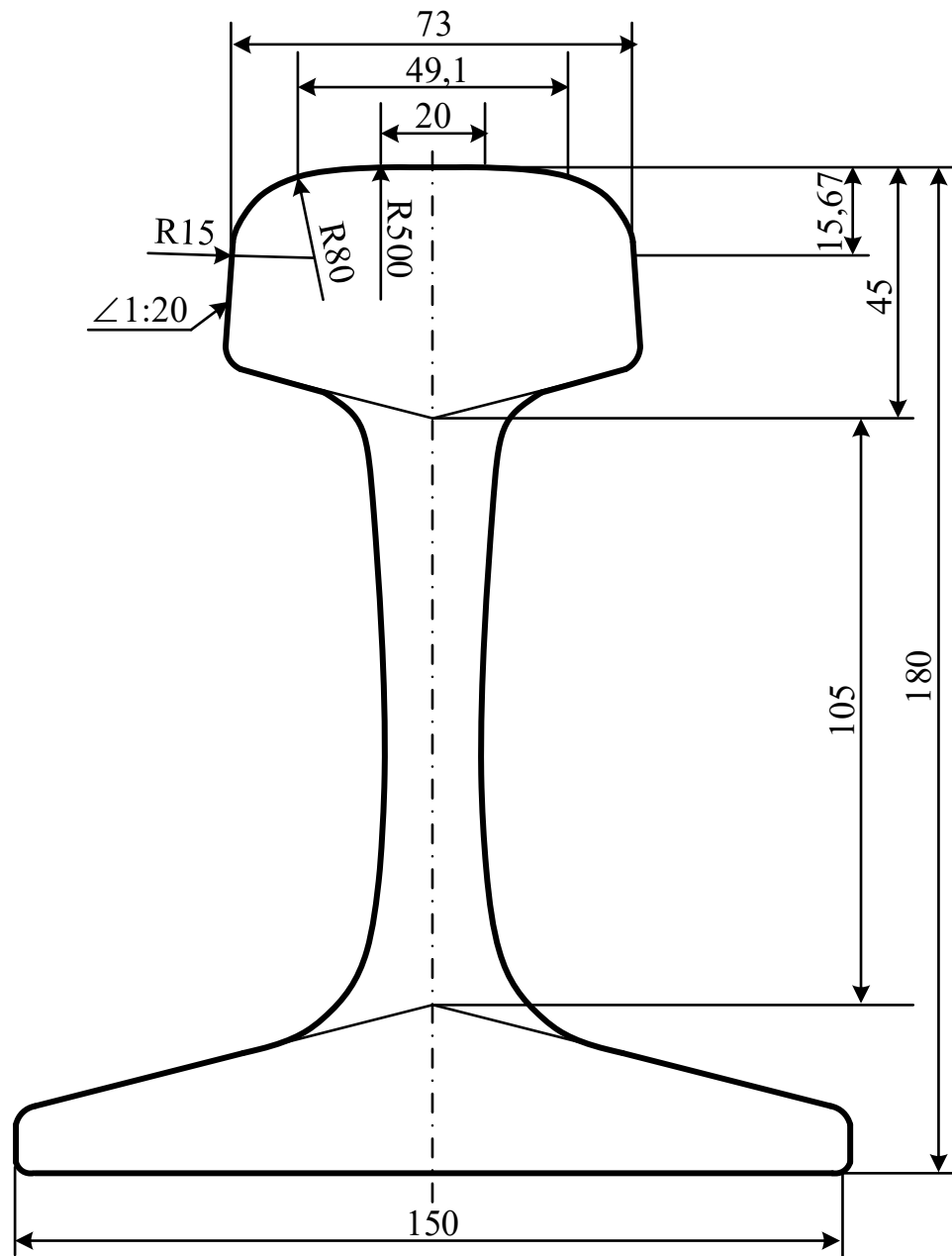


Рисунок 1.1 – Геометричні розміри поперечного перетину залізничної рейки типу Р65

Механічні властивості визначаються під час ударного вигинання та розтягування. Для залізничних рейок типу ДТ350 базові кількісні значення механічних властивостей наведено в табл. 1.2

За поперечним перетином властивості твердості залізничної рейки наведено в табл. 1.3 [31].

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості рейок типу ДТ350, які визначено під час ударного вигинання та розтягування

Механічна властивість	Позначення	Одиниця вимірювання	Значення
Межа текучості	$\sigma_{0,2}$	Н/мм ²	не менш 800
Часовий опір	$\sigma_{\text{ч}}$	Н/мм ²	не менш 1180
Відносне звуження	ψ	%	не менш 25,0
Відносне подовження	δ	%	не менш 9,0
Ударна в'язкість	KCU	Дж/см	не менш 15,0

Таблиця 1.3 – Твердість залізничної рейки типу ДТ350

Місце, де визначається твердість	Значення твердості, HV
Від поверхні кружки залізничної рейки вглибину 10 мм	не менш 341
Від поверхні катання головки вглибину 10 мм за вертикаллю осі залізничної рейки	
На поверхні катання головки	від 352 до 405
Від поверхні катання головки вглибину 22 мм за вертикаллю осі залізничної рейки	не менш 341
У подошві	не більш 363
У шейки	не більш 341

Поверхня залізничної рейки повинна не мати різних типів тріщини, забруднень, які розкатані, уриваності, без наявності порожнин, розкочених скорин, раковин від окалини, заутки, вм'ятин, підрізів, поперечних подряпин, а також поперечних рисок [1].

Структура головки залізничної рейки, яка є термічно зміцненою, повинна мати пластинчастий перліт, кількісна величина якого складає не більше ніж 4 біли за ДСТУ ГОСТ 823356 «Сталь. Еталони мікроструктури», а також мати в

своєму складі дрібні ділянки фериту, за кількісним складом не більше 2 балів за шкалою 7 [2], бейніт не є припустимим. Мікроструктура головки залізничної рейки, яка не є термічно зміцненою, повинна бути пластинчастим перлітом, за кількісним складом не більше ніж 8 балів за шкалою 1 [2].

Глибина шару, у якому немає вуглецю, та знаходиться на її поверхні повинна бути не більше 0,5 мм [1] та визначається за глибиною розповсюдження феритної сітки h під час застосування аналізу мікроскопічної структури зі застосуванням шліфування, що наведено на рис. 1.2 [1].

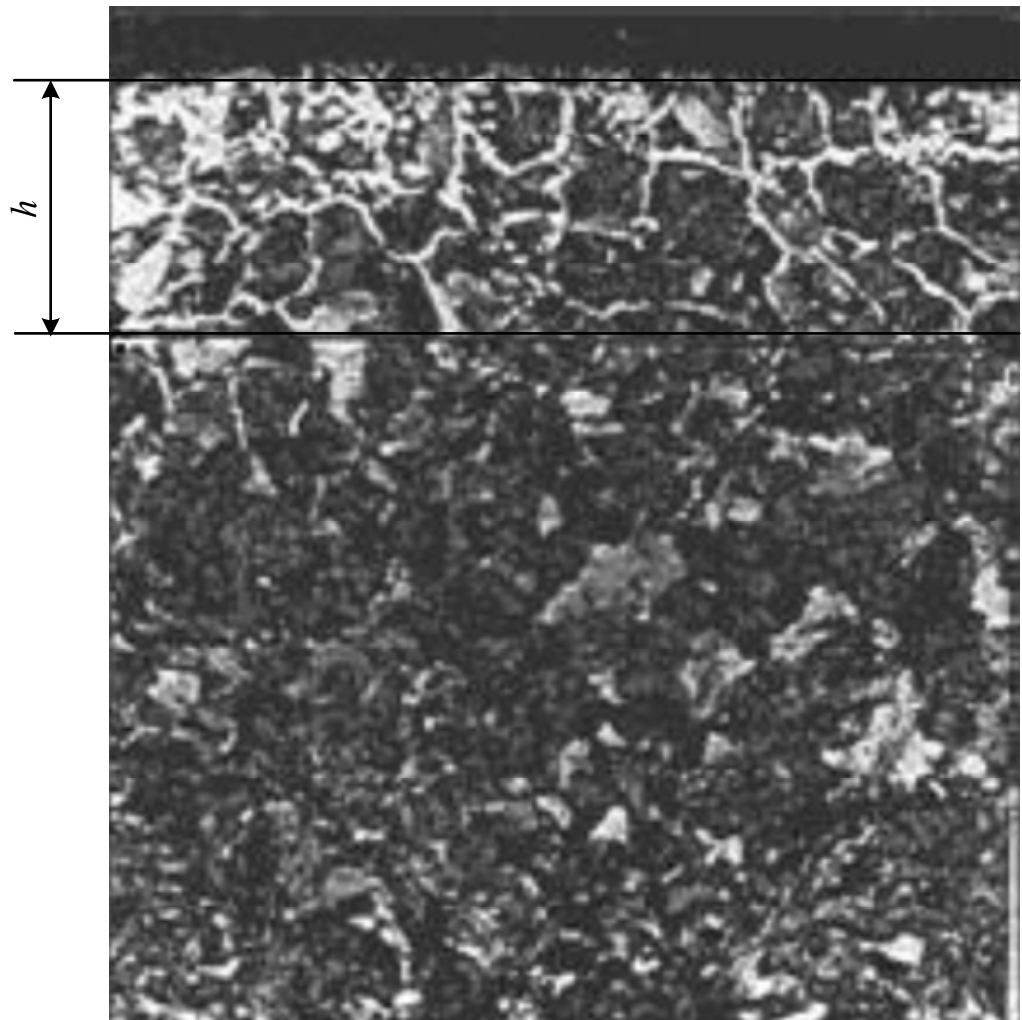


Рисунок 1.2 – Результат визначення глибини шару без вуглецю в головці металевої рейки під час мікроскопічного шліфування

Межа витривалості металевих залізничних рейок типу ДТ350 під час проведення досліджень повного профілю проб складає не менше 370 МПа [1].

Технологічний процес виготовлення залізничних рейок має в своєму складі такі етапи:

- 1) розливання сталі до форми, де сталь застигає у формі злитків;
- 2) підігрівання злитка сталі до температури в межах від $+1180$ до $+1200^{\circ}\text{C}$ [3];
- 3) здійснення первісної обробки на блюмінгу, під час якого злитку надається прямокутну форму;
- 4) виконання протягом декількох разів прокатки через валки, під час цього здійснюється витягування за довжиною та має місце поступове зміння форми заготовки, на виході формується профіль за регламентованими розмірами;
- 5) проведення маркування залізничних рейок;
- 6) нарізання отриманих форм за номінальною довжиною;
- 7) здійснення попереднього вигинання залізничних рейок під час протягування їх через ролики, які здійснюють згинання рейок так, що під час охолодження вони випрямлялися;
- 8) забезпечення регулювання процесу охолодження;
- 9) здійснення процесу термічного зміцнення під час загартуванням за температурою $+850^{\circ}\text{C}$ [3];
- 10) регулювання процесу охолодження для збільшення величини показників стійкості щодо зношення;
- 11) внесення правки;
- 12) вимірювальний контроль наявності дефектів.

На початку XXI сторіччя виконано переведення масового виробництва залізничних рейок на безперервне лиття заготовок зі застосування електричної енергії та конвертерів [4], що дозволило виключити з 1 по 4 технологічні операції. Це дозволило виготовляти залізничні рейки, що мають підвищену металургійну якість, а також рівномірну структуру металу за перетином рейки [5]. Операція термічного зміцнення виконується для підвищення експлуатаційної стійкості залізничної рейки, яка працює в умовах високої

напруженості [3].

Раніше термічне зміцнення виконувалося зі застосуванням об'ємного загартування в маслі. Під час застосування цього способу зміцнення покращувалася міцність та досягалось однорідність структури за перетином залізничної металевої рейки, проте зазначений спосіб мав такі недоліки [3]:

- змінення довжини залізнично рейки;
- скривлення рейки під час загартування, що потребує застосування процесу холодної правки, у процесі якої на голівці утворюється залишкова напруженість, що здійснює розтягування;
- низька швидкість процесу охолодження, що забезпечить потрібні показники твердості за глибиною головки залізничної металевої рейки.

Збільшення кожного року вантажного навантаження залізниці обумовлює необхідність щодо подальшого збільшення показників надійності, а також експлуатаційних характеристик стійкості залізничних металевих рейок [3].

У теперішній час розроблено та використовується в промисловому виробництві технологія виготовлення залізничних металевих рейок, які мають диференційне термічне зміцнення головки зі застосуванням полімерного матеріалу [6]. Використання цього способу термічного зміцнення підвищує показники надійності завдяки формуванню головки, що є більш зміцненою, а також з меншими показники міцності шийки та підшви залізничних рейок [3].

1.2 Аналіз зміни характеристик і параметрів залізничних рейок під час їх експлуатації

Під час експлуатації має місце зменшення властивостей залізничних рейок завдяки зношенню головки, це має місце на радіусах із малою кривизною та ділянках гальмування, корозійних процесах підшви рейки, а також наявності внутрішніх і поверхневих дефектів металу. Зазначені фактори зменшують максимальну можливу та нормативно допустиму вагу, яка

пропускається під час промислової експлуатації залізничних рейок. На прямих ділянках залізниці, а також на ділянках, що мають кривизну з радіусом не більше 1000 м, тоннаж може змінюватися в діапазоні від 600 до 700 млн тон. На ділянках з радіусом кривизни від 300 до 1000 м величина тоннажу становить менше від 2 до 4 разів. Для підтримки характеристик і параметрів залізничних металевих рейок на експлуатаційному рівні, а також для збільшення терміну експлуатації необхідно розробка та впровадження наступних технічних заходів.

Здійснення періодичного вимірювання голівки залізничної рейки шляхом фрезерування, шліфування або стружки поверхні зі зменшення величини хвилеподібного або бічного зношення, яке має місце під час періодичного мінімального та максимального впливу залізничних коліс рухомого складу на однакових ділянках колії.

Шліфування за профілем залізничних рейок зі застосуванням спеціальних поїздами, які використовують абразивні колами, що обертаються. Також здійснюється формуванням ремонтних профілів головки, що залежить від ступеня зношення залізничної рейки для відтворення їх первісного стану. Ще додатковим заходом є видалення частини металу на деяких ділянках голівки, де мають місце мікронні тріщини, а також вирівнювання поверхні катання.

Одним зі способів підвищення показників надійності металевих рейок є застосування дозованого мастила на бічних гранях зовнішніх рейок, якщо радіус кривизни знаходиться в межах від 500 до 600 м. Використовувати зазначене мастило можна на стаціонарних ділянках або постах, а також зі застосуванням відповідного обладнання, яке встановлюється на дрезинах, локомотивах і вагонах. Під час дуже рясного використання мастила на бічних ділянках залізничних рейок можна практично звести до нуля їх зношення. У зазначеному випадку термін експлуатації залізничних рейок, у яких кривизна колії менше ніж 600 м, визначаються виникнення поодиноких дефектів, які мають контактно-втомне походження з утворенням, що має місце після певного часу напрацювання, тріщини на робочій головці, де матеріал рейки знаходиться під час впливу коліс та функціонує в діапазоні обмеженої витривалості.

Шліфування за профілем та дозоване застосування мастила дозволить підвищити термін експлуатації залізничних рейок в межах від 1,5 до 2 разів.

Перекладання залізничних рейок, коли має місце заміна робочого канта, який контактує з гребнем колеса, після синхронного зсуву внутрішньої та зовнішньої сторони рейок, причому внутрішня сторона має відносно невелике зношення, виконують після перекладання технічним персоналом залізниці, що дозволяє застосовувати кожен зі сторін головки рейок.

Загальний термін експлуатації залізничних рейок визначається обсягом тоннажу, що перевезено. Перед вторинним застосуванням залізничної рейки першого укладання їх знімають для здійснення капітального ремонту залізничної колії. Ці рейки перевозяться до підприємств, де виконується їх комплексний технічний ремонт. Після технічного обслуговування залізничних рейок типу Р65 їх можна застосовувати на окремих ділянках завдовжки до 800 м головних магістралей, напруженість цих ділянок за навантаженням може бути в межах від 15 до 40 млн. тон, а максимальна швидкість залізничного транспорту обмежена 100 км/год. На швидкісних магістральних лініях повинні застосовуватися лише нові залізничні рейки.

Під час експлуатації нових залізничних рейок, які мають напрацювання приблизно від 300 до 400 млн тонн, якщо не здійснювати періодичне шліфування за профілем, має місце поодинокі випадки виходу з ладу рейок. Зазначені ситуації обумовлено виникненням дефектів, які утворюються в місця неякісного зварювання, в зонах стиків, завдяки наявності глибоких пробуксовок на ділянках магістральних ліній, що мають крутий підйом. Також виникають внутрішні дефекти в головці, що обумовлено наявністю в металі доволі великих зон з неметалевими включеннями. Під час планування капітального ремонту залізничної колії для зміни рейок, що мають напрацювання від 650 до 750 млн тон, з 80 рейок, які мають довжину 25 метрів, підлягають дослідженню на дефекти та інші діагностичні заходи. Так, на кожний кілометр залізничної колії ідентифікуються від 2 до 4 залізничних рейок з явними дефектами, що істотно більші ніж нормативні значення. Зазначені залізничні рейки необхідно негайно

замінити тому, що можливий їх вихід з ладу. Дефекти, що виникають у головці залізничної рейки визначаються дефектоскопами, які розміщуються на змінних візках або вагонах. Ці дефекти ідентифікуються у тому випадку, коли площа тріщини знаходиться у межах від 9 до 12% від загальної площі перетину головки рейки. Злам залізничної рейки під вагою залізничного составу може відбутися, коли площа дефекту складає від 25 до 30 % від загальної площі перетину під час дії температури від -15 до -20°C , якщо значення температури сягає -50°C , то злам може відбутися під час наявності від 1,5 до 1,8 разів меншої площі дефекту.

Під час здійснення вимірювального контролю зі застосуванням спеціального обладнання встановлено, що переважка кількість залізничних рейок, які замінено на магістральних шляхах після роботи з нормативною тоннажем, мають внутрішні дефекти в голівці рейки, проте площі цих дефектів має менше значення ніж типова величини, що зазначена вище. Якщо ці залізничні рейки без здійснення сортування та обробки профілем їх головки на спеціалізованому промисловому підприємстві застосувати на ділянках магістралі, де має місце менша кількість перевезень, то під тиском колісних пар залізничного транспорту має місце подальше збільшення та розвиток дефектів. Так, вже після пройденого тоннажу від 50 до 100 млн тон частина цих дефектів може бути ідентифікована. Як результат знадобиться термінове вилучення деякої кількості залізничних рейок, які мають значну кількість та площу дефектів. Отже, на спеціалізованому промисловому підприємстві під час обробки голівок залізничної рейки формується ремонтний тип профілю. Під час застосуванням цього ремонтного профілю колісні пари залізничних составів будуть взаємодіяти на ту її поверхню, де метал залізничної рейки має доволі високе початкове значення міцності.

Також застосовуються залізничні рейки, що мають підвищену якість під час використання в умовах різкої зміни температури. Зазначені рейки I групи мають загартування за повним своїм об'ємом, їх виготовляють зі сталі, що має в своєму складі ніобій, ванадій та бор, а також зі застосуванням для легування

феросплавів з азоту. Для цих залізничних рейок застосовують сталь, що виготовляється в дугових електричних печах. Під час досліджень встановлено, що за температури -60°C ці залізничні рейки витримують величину ударного навантаження, яка більше в два рази, ніж залізничні рейки, що виготовлено з мартенівської сталі.

Під час проведення експериментальних досліджень [7 – 10] доказано, що в процесі тривалого експлуатаційного режиму на поверхневому шарі залізничної рейки утворюється структура, що має доволі велику кількість шарів, а також запропоновано спосіб зміцнення цієї поверхні. Так, виконано експериментальні дослідження залізничної рейки Р65 у початковому стані та після експлуатації від 500 до 1000 млн тон. Відзначено, що утворюється шар, який має товщину до 20 мкм, а також перехідний шар від 200 до 300 мкм, що знаходиться в основному обсязі сталюї рейки.

Істотні зміни структури сталюї рейок під час її експлуатації мають місце в поверхневому шарі зі структурою у вигляді фрагментів з розмірами зерна від 250 до 300 нм для залізничних рейок після експлуатації в 500 млн тон, а також менша від 100 до 150 нм для залізничних рейок у початковому стані [11].

Під час експериментальних досліджень [7] встановлено, що має місце підвищення твердості HV поверхні залізничної рейки приблизно в півтора рази з тоннажем 500 млн тон, а зменшення твердості приблизно в 1,4 рази має місце в залізничних рейках з тоннажем 1000 млн тон. Для залізничної рейки у початковому стані значення твердості шару на поверхні глибиною 10 мм практично не змінюється.

У залізничних рейки, які використовувалися на тоннаж 500 млн. тон на поверхні їх головки має місце високе значення твердості, величина якого визначається приблизно в 7 ДПа, що практично зменшується за лінійним законом з підвищенням глибини від поверхні рейки. Величина твердості поверхні голівки залізничної рейки на тоннаж 1000 млн тон приблизно дорівнює 5,4 ГПа. Ця величина зменшується до глибини від поверхні в 2 мм, а потім має місце підвищення показника твердості до 7,5 ГПа на глибині до

10 мм. Це ефект обумовлено доволі високою кількістю дефектів на поверхні залізничної рейки [7]. Також проведено дослідження з [12] пошарового аналізу структури поверхні залізних рейок, що були загартовані зі застосуванням диференційованого та об'ємного способу. Здійснено порівняльний аналіз структури, а також величини відстані між пластинами перліту, після застосування об'ємного способу загартування та виконано порівняння з результатами, що отримано під час диференційного способу, в однорідному шарі, який має товщину 2 мм, а також у аналізованому шарі вглибину 10 мм від поверхні залізничної рейки. З аналізу щільності напруження структури залізничної рейок після здійснення її об'ємного загартування в порівнянні з результатами, які мають місце під час диференційного способу загартування, має менший показник однорідності структури в шарі з товщиною 2 мм, проте більший показник однорідності має місце в шарі вглибину 10 мм від поверхні голівки залізничної рейки.

1.3 Аналіз методів контролю поверхневого шару катання головки залізничної рейки

Під час виготовлення залізничних рейок відбувається їх неодноразове нагрівання високою температурою. На кожному етапі нагрівання робочий простір промислової печі заповнено повітрям, що викликає окислення сталі від 5 до 6 % [13]. Під час дії високих температур на поверхні залізничної рейки має місце інтенсивне окислення заліза та вуглецю. Величина шару без вуглецю може знаходитися в межах від 1,5 до 2 мм [14].

Величина глибини шару залізничної рейки без вуглецю істотно впливає на експлуатаційні характеристики та параметри, та є базовим фактором під час проведення приймальних випробувань. Зменшення концентрації вуглецю може призвести до зниження опору сталі щодо механічного пошкодження та твердості залізничної рейки, що істотно підвищує швидкість зношення рейки на

початку її експлуатації, а також сприяє розвитку тріщин.

Шар, в якому доволі низький вміст вуглецю, прискорює утворення напливу сталі на бічну грань залізничної рейки. Цей наплив утворює перерозподіл механічного напруження на глибині від 3 до 5 мм, що прискорює утворення мікронних тріщин у сталі залізничної рейки.

Нерівномірне розподілення вмісту вуглецю в шарах на поверхні підосви рейки є причиною виникнення різної швидкості протікання корозії, що істотно впливає на термін експлуатації залізничних рейок.

Глибину шару, де має місце доволі невеликий вміст вуглецю можна визначити такими методами вимірювального контролю:

- хімічний;
- металографічний;
- вимірювання величини твердості;
- вимірювання величини мікронної твердості.
- вимірювання значення термо-е.р.с.

Під час здійснення приймальних випробувань залізничних рейок, глибина шару, де має місце доволі низький вміст вуглецю, на голівці рейки не повинна бути більше ніж 0,5 мм. Вимірювальний контроль глибини цього шару визначається під час металографічного аналізу, а також вимірювання величини твердості сталі. Також застосовуються магнітні методи неруйнівного вимірювального контролю глибини шару з низьким вмістом вуглецю [15 – 16].

2 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ АКУСТИЧНИХ ШУМІВ І ШВИДКОСТЕЙ ХВИЛЬ

2.1 Вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у сталі

Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль можна визначити зі застосуванням методу автоматичної циркуляції імпульсів [17], принцип якого базується на тому, що генератор формує імпульс, який збуджує п'єзоелектричний перетворювач, що випромінює. Сформований акустичний сигнал, що пройшов об'єкт дослідження, перетворюється приймальним п'єзоелектричним перетворювачем. Потім підсилюється цей вихідний сигнал п'єзоелектричного перетворювача та передається до блоку керування генератором для формування наступного імпульсу. Описаний процес повторюється циклічно. Під час цього здійснюється розрахунок значення частота імпульсів, яка має назву частота автоматичної циркуляції, що виводиться до цифрового індикатору дефектоскопа.

Схему підключення електронного пристрою контролю дефектів типу ІСП – 12 наведено на рис. 2.1, де позначено: 1 – п'єзоелектричний перетворювач, 2 – випромінювальний п'єзоелектричний перетворювач, 3 – об'єкт вимірювального контролю, 4 – приймальний п'єзоелектричний перетворювач, R – релеєвська хвиля ультразвукових коливань.

Ультразвукові коливання від випромінювача п'єзоперетворювача проходять за поверхнею об'єкту досліджень та перетворюються зі застосуванням приймального п'єзоелектричного перетворювача. На індикаторі вимірювального пристрою виводиться значення частоти автоматичної циркуляції імпульсів у кГц. Значення резонансної частота вимірювального перетворювача складає 2,5 МГц, відстань між стрілою вимірювального перетворювача та точкою входу складає 50 мм.

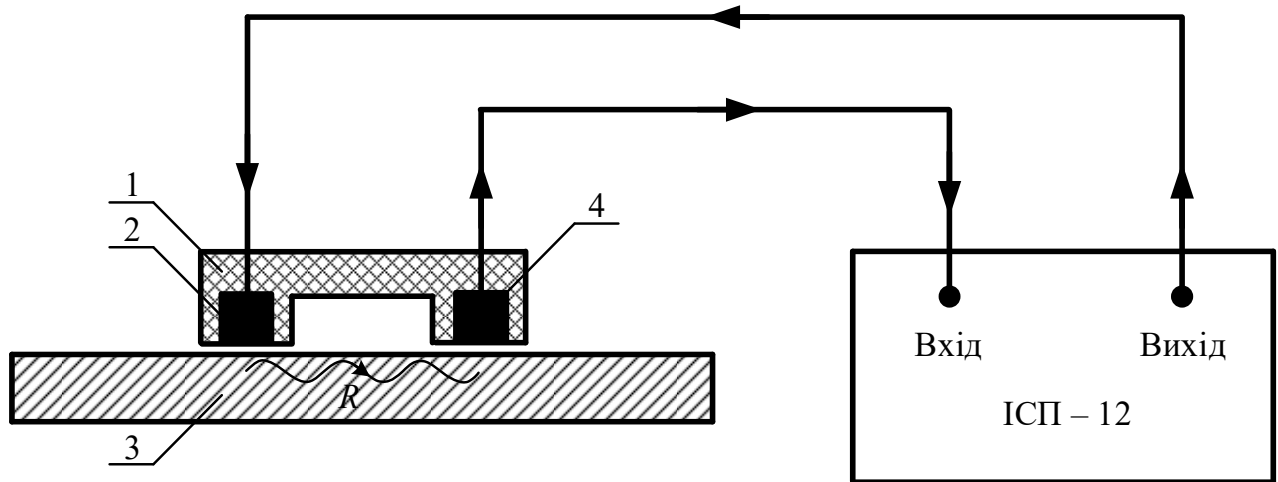


Рисунок 2.1 – Схема підключення електронного пристрою контролю дефектів типу ІСП – 12

Вимірювання здійснюються на зовнішній стороні об'єкту дослідження 1 позиція перетворювача та поперечному в 2 позиції перетворювача, як наведено на рис. 2.2. Відносне значення похибки вимірювання швидкості розповсюдження імпульсів складає $\pm 0,2\%$.

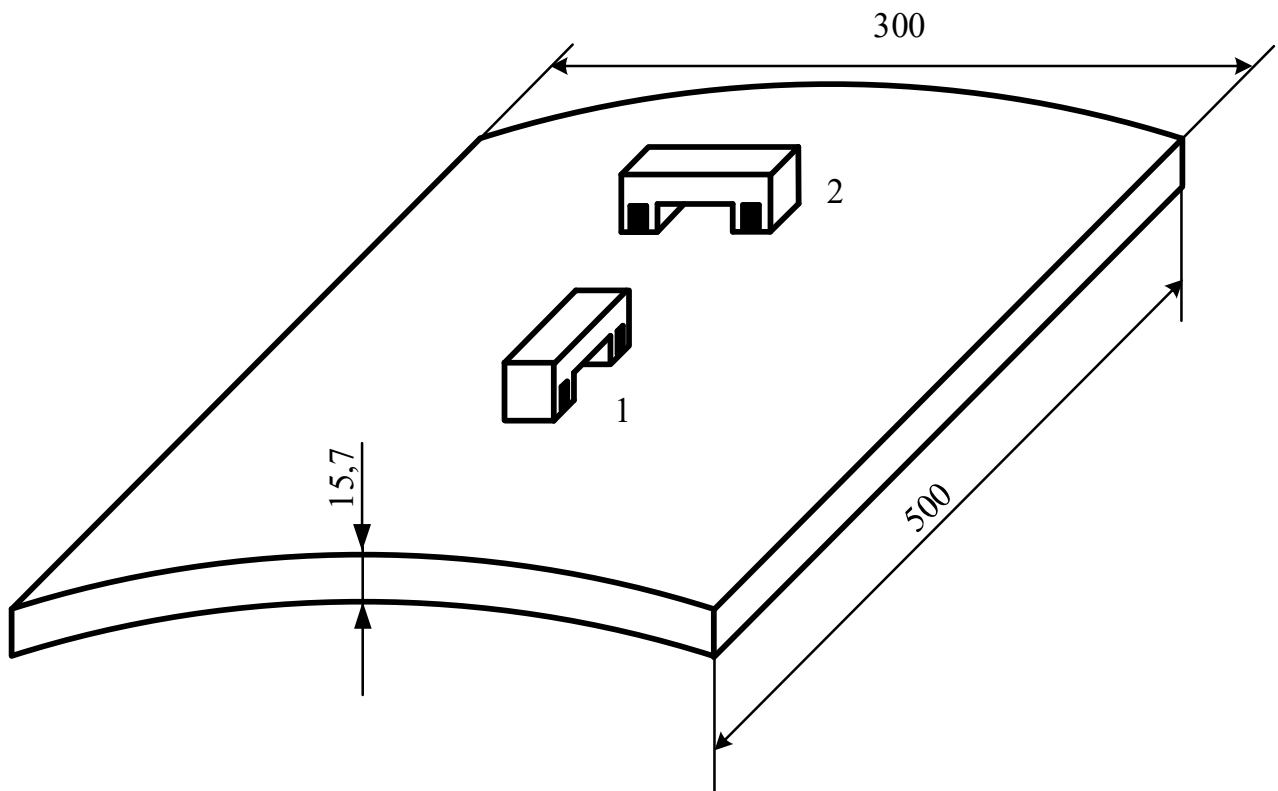


Рисунок 2.2 – Розташування вимірювального перетворювача на плоскості

У об'єкті дослідження має місце розповсюдження поперечних хвиль під час поляризації, а також тих, що випромінюються за нормаллю до поверхні, як наведено рис. 2.3, зі застосуванням сумісного електромагнітного та акустичного способів вимірювального контролю [18].

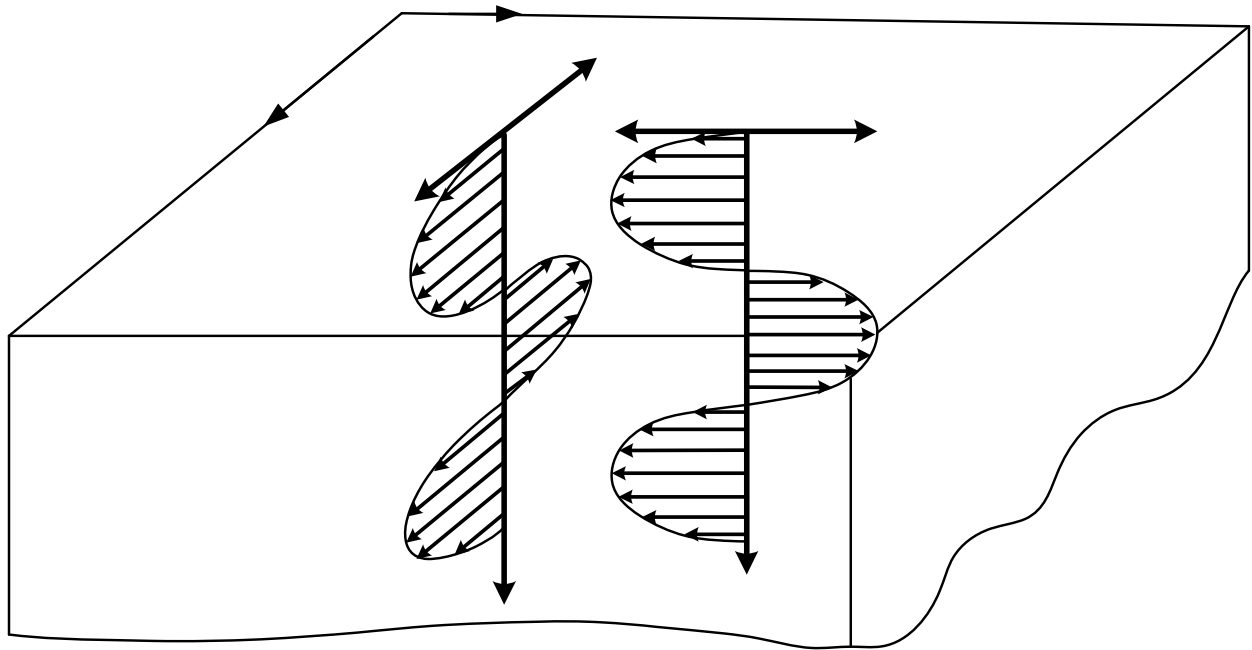


Рисунок 2.3 – Плоско-поляризовані поперечні хвилі, які розповсюджуються відносно нормаллю до плоскості поверхні

Збудження та приймання хвиль, а також підмагнічування електромагнітного та акустичного перетворювача здійснюється електромагнітним та акустичним о структуроскопом, схему виконання вимірювального контролю за допомогою якого наведено на рис. 2.4, де позначено: 1 – блок електромагнітного та акустичного перетворювача; 2 – об'єкт вимірювального контролю, t – поперечна хвиля.

За допомогою комп'ютера здійснюється керування електромагнітного та акустичного вимірювального пристрою та змінення значень налаштування під час виконання вимірювань, таких як величина амплітуди імпульсів зондування, коефіцієнт підсилення за потужністю імпульсів, величина затримка між результати вимірювання, кількість точок для усереднення.

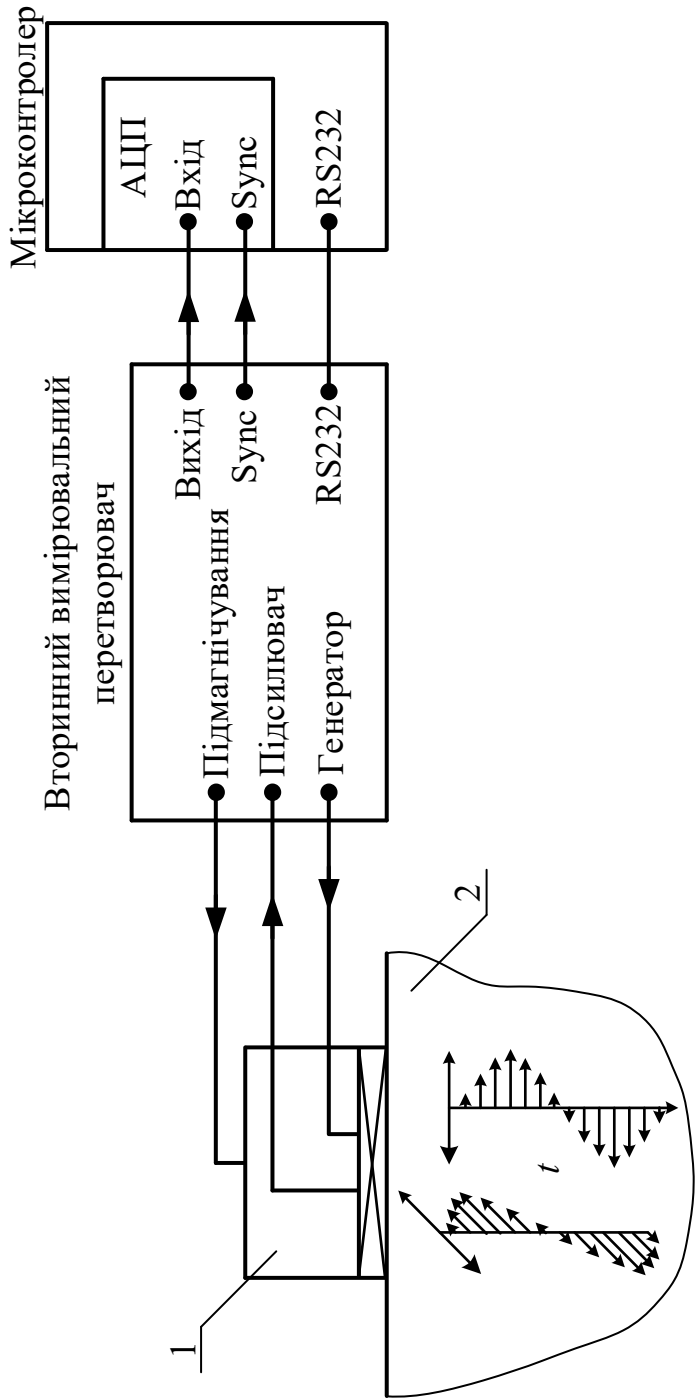


Рисунок 2.4 – Схема для вимірювання швидкості розповсюдження поперечних ультразвукових хвиль

Основні технічні характеристики електромагнітного та акустичного структуроскопу наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики електромагнітного та акустичного структуроскопу

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Робоча частота	МГц	2,5
Амплітудне значення імпульсу зондування	кВ	1,5
Коефіцієнт підсилення підсилювального каскаду		1500
Смуга пропускання підсилювального каскаду	МГц	від 1 до 6

Електромагнітний та акустичний структуроскоп забезпечує:

- збудження електромагнітного та акустичний перетворювача імпульсами зондування, амплітудне значення яких становить 1,5 кВ;
- підсилення вихідного сигналу перетворювача в широкій смузі частот з коефіцієнтом підсилення 80 дБ та рівнем шумової складової 50 мкВ;
- цифрову індикацію за двома вимірювальними каналами.

До об'єкту дослідження здійснюється випромінювання ультразвукових коливань двох поперечних хвиль, які мають взаємно-перпендикулярну поляризації. Вимірювальний перетворювач працює у сумісному випромінювач-перетворювач режимі. У об'єкті дослідження зі застосуванням випромінюючої котушки має місце збудження акустичних імпульсів. Ці імпульси після розповсюдження об'єктом дослідження мають багаторазове віддзеркалення від поверхні приймальної котушки, яка здійснює перетворення акустичних коливань до електричних імпульсів. Потім вихідні сигнали підсилюються та передаються до аналого-цифрового перетворювача типу ЛАн1012РСІ-У, який встановлений на комп'ютері. Частота дискретизація зазначеного аналого-цифрового перетворювача складає 100 МГц. Технічні характеристики та

параметри АЦП типу ЛАн1012РСІ-У наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики та параметри аналого-цифрового перетворювача типу ЛАн1012РСІ-У

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Тип аналого-цифрового перетворювача	послідовно-паралельний	
Кількість каналів	шт.	2
Частота дискретизації	МГц	100
Смуга пропускання сигналу	МГц	40
Розрядність	біт	12
Діапазон зміни вхідної напруги	В	$\pm 0,2; \pm 0,4; \pm 1; \pm 2;$

Цифровий сигнал від двох вимірювальних каналів передається до програмної компоненти вимірювального пристрою. Це сигнал представлено як серії віддзеркалених імпульсів, як наведено на рис. 2.5. У програмі здійснюється перерахунок часу розповсюдження поперечних ультразвукових хвиль до значення швидкості. Для визначення величини похибки вимірювання інтервалу часу застосовано два сусідніх віддзеркалених імпульси (див. рис. 2.5). У кожного з цих імпульсів вибирається максимальне значення амплітуди, зі застосуванням якої здійснюється вимірювання інтервалу часу. Значення цього інтервалу часу між імпульсами вимірюється випадково у межах дискретизації аналого-цифрового перетворювача:

$$\Delta t_{\text{д}} = \frac{1}{f_{\text{д}}} = \frac{1}{100 \cdot 10^6} = 10 \cdot 10^{-9} = 10 \text{ нс},$$

де $f_{\text{д}}$ – частота дискретизації аналого-цифрового перетворювача, Гц.

Отже, величина інструментальної похибки дискретизації вимірювального сигналу дорівнює 10 нс.

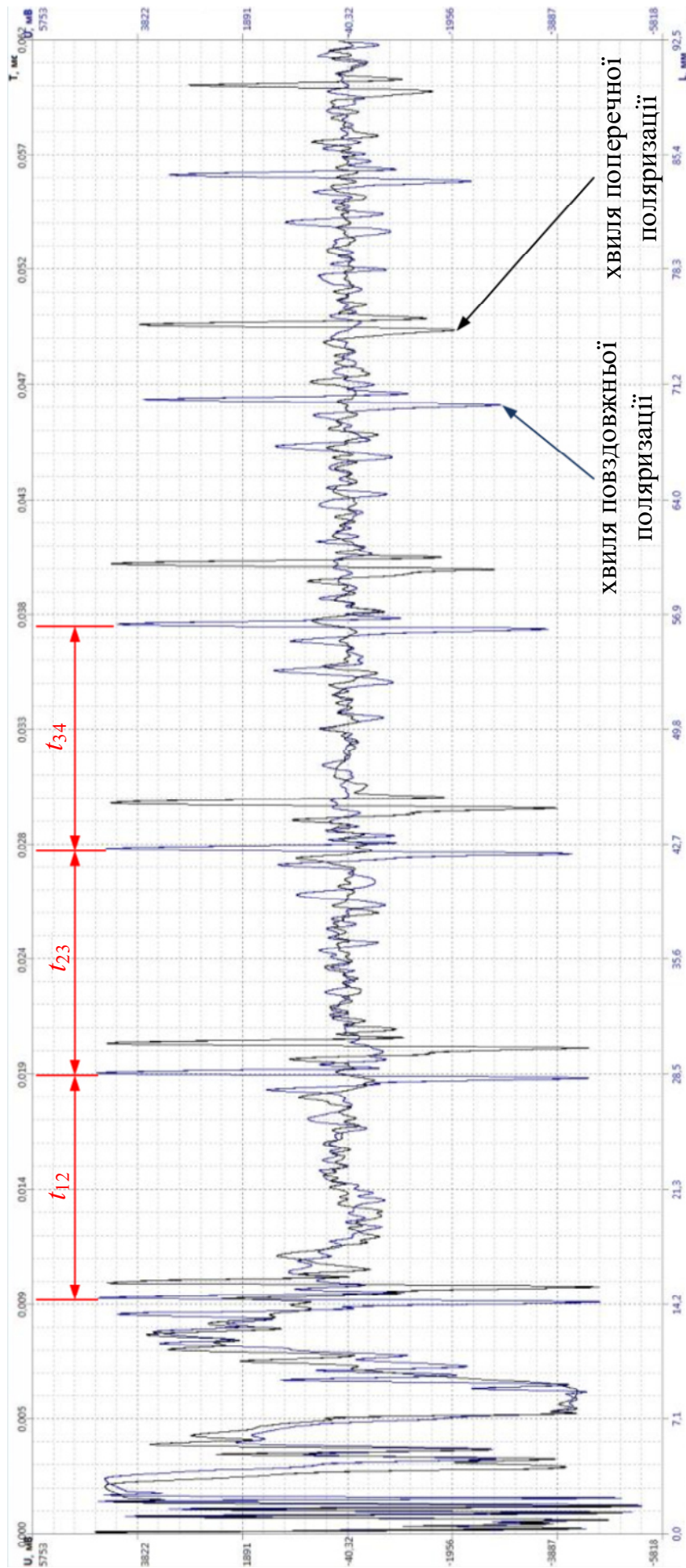


Рисунок 2.5 – Форма вихідного сигналу вимірювача швидкості розповсюдження ультразвукових коливань у сталі

2.2 Вимірювання рівня акустичної шумової складової сигналу під час розтягування рейки

Експериментальні дослідження зразків металу на розтягування може здійснюватися зі застосуванням пристрою типу Instron 300DX, базові характеристики якого наведено в табл. 2.3. Зразки сталі можна навантажувати поступово до величини 180 кН. У діапазоні від 0 до 100 кН крок навантаження складає 10 кН, а в межах від 100 до 180 кН кроком становить 5 кН, з обліком величини поперечного перетину зразку залізничної рейки величина навантаження складає 600 МПа.

Таблиця 2.3 – Базові характеристики пристрою типу Instron 300DX для дослідження залізничної рейки на розтягування

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Максимальна межа навантаження	кН	300
Значення відносної похибки вимірювання навантаження	%	$\pm 0,5$
Максимальний хід поршня	мм	156
Максимальна величина швидкості поршня	мм/хвилину	76
Напруга живлення	В	220
Потужність, що споживається в промислової мережі	кВт	2,5
Вага пристрою	Кг	1145
Габаритні розміри пристрою	мм	2356 x 675 x 675

Схему розтягування залізничної рейки наведено на рис. 2.6, де позначено: 1, 4 – кріплення пристрою типу Instron 300DX, що рухається, та нерухоме, 2 – зразок залізничної рейки, що досліджується; 3 – ділянка розташування перетворювача поперечних хвиль.

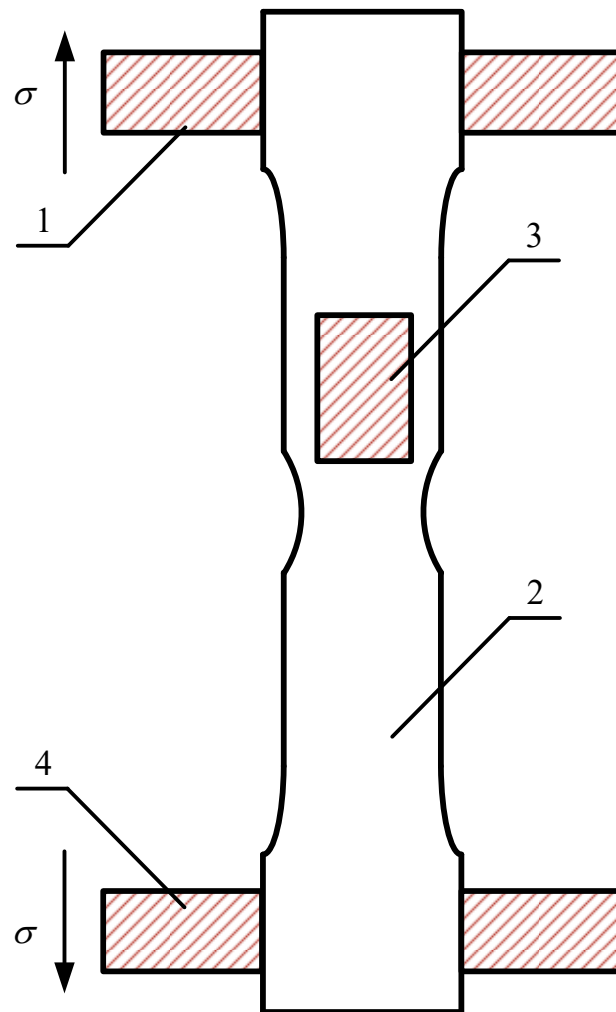


Рисунок 2.6 – Схема розтягування дослідного зразка залізничної рейки

На кожному з кроків розтягування визначається осцилограма шумової складової вихідного сигналу зі застосуванням вимірювального перетворювача поперечних ультразвукових коливань.

Під час виконання експериментальних досліджень необхідно виконувати наступні базові умови: здійснювати якісне центрування досліджуваного зразка в захватах пристрою, забезпечувати плавність деформації, а також мати змогу зупинити навантаження, якщо досягається межа плинності. Під час здійснення досліджень на розтягуванням плоских зразків, які мають виріз у вигляді корсету, для збудження та приймання ультразвукових коливань можна використовувати розроблену методики [19], що базується на застосуванні вимірювального перетворювача поздовжніх і поперечних ультразвукових коливань, що випромінюють та приймаються під кутом 65° на частоті 5 МГц.

Довжина стріла вимірювального перетворювача складає 7 мм, а фокусна відстань дорівнює 9 мм. Вимірювальну схему перетворювача поперечних хвиль наведено на рис. 2.7, де позначено: 1 – досліджуваний зразок; 2 – вимірювальний перетворювач, t – поперечна, l – поздовжня та R – релеєвська хвилі.

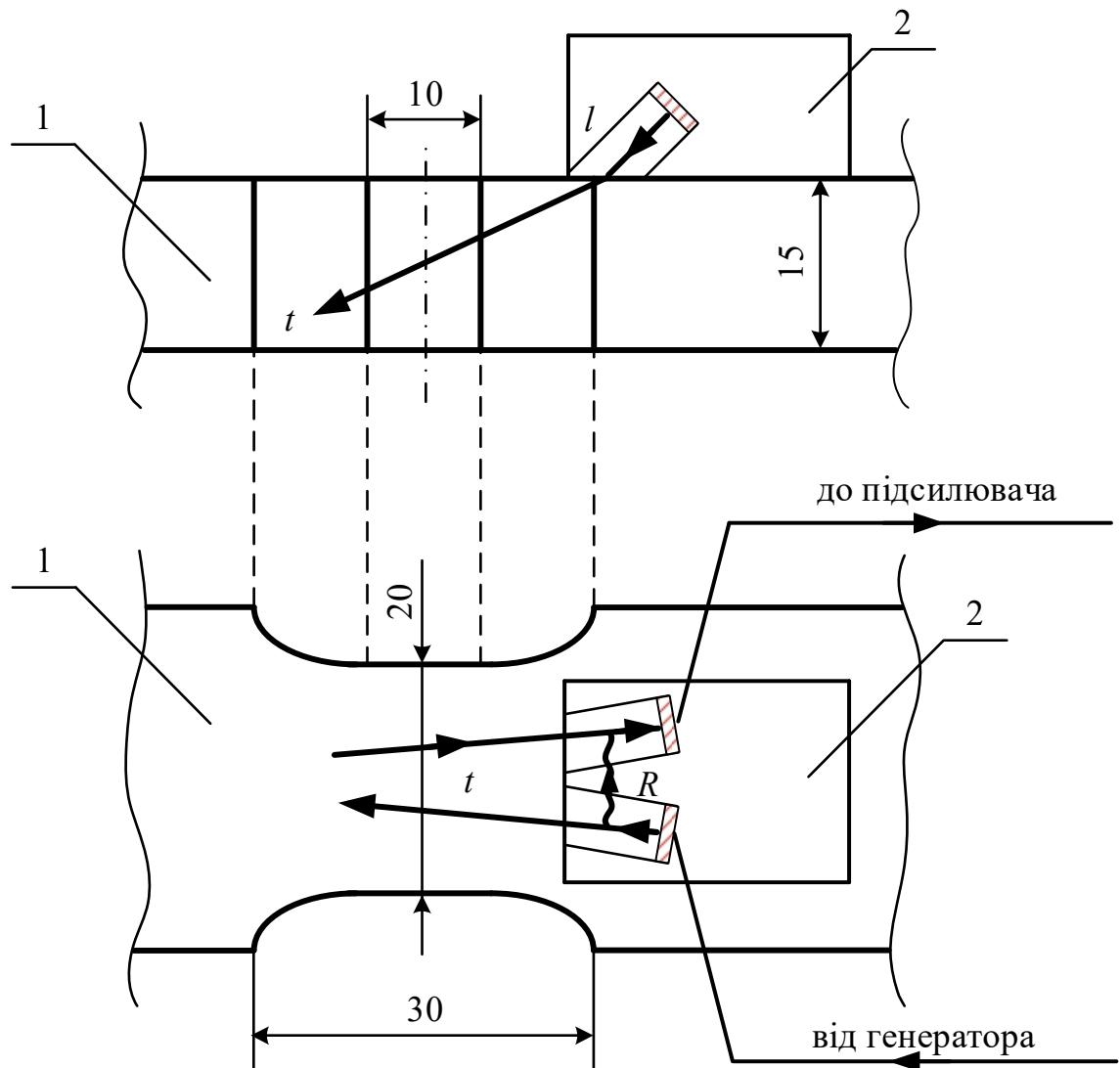


Рисунок 2.7 – Вимірювальна схема перетворювача поперечних хвиль

Вимірювальний перетворювач поперечних хвиль підключений зі застосуванням коаксіальними кабелів до ультразвукового вимірювального пристрою типу ДУК-66, основні технічні характеристики і параметри якого наведено в табл. 2.4 [20].

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики і параметри дефектоскопу типу ДУК-66

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Робочі частоти	МГц	0,62; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00
Діапазон робочих частот підсилювача на частоті 5 МГц	МГц	від 4,5 до 5,5
Діапазон зміни амплітуди імпульсу на виході генератора	В	від 5 до 2000
Діапазон зміни коефіцієнта підсилення на частоті 5 МГц		від $3 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^6$
Глибина регулювання чутливості за часом	дБ	від 0 до (55±5)
Тривалість регулювання чутливості за часом	мкс	20±5
		1600±200
Зменшення значення вхідного сигналу зі застосуванням атенюатора	дБ	від 0 до 80
Частота проходження імпульсів випромінювання	Гц	100±20
		1000±100
Значення затримки під час розгортки	мкс	4±1
		1600±100
Фіксована значення частоти проходження імпульсів	Гц	від 3000 до 4000

Електричну напругу формується генератором імпульсів зондування ультразвукового пристрою типу ДУК-66 до п'єзоелектричної платини, що випромінює перетворювача, під час цього збуджуються поздовжні хвилі. На межі розділення двох середовищ має місце заломлення ультразвукової хвилі на об'єкті дослідження у вигляді поперечної ультразвукової хвилі.

Віддзеркалена та розсіяна на структурі, що має неоднорідність, поперечна хвиля заломлюється на межі розділення двох середовищ. Вона переходить до поздовжньої хвилі з подальшим трансформуванням до електричного сигналу зі застосуванням приймального п'єзоелектричного перетворювача. Вихідний сигнал перетворювача підсилюється високочастотним підсилювачем від 80 до 90 дБ. Для індикації та обробки вимірювального сигналу до виходу пристрою типу ДУК-66 підключено осцилограф типу RIGOL DS1102C. Синхронізація роботи осцилографа з пристроєм типу ДУК-66 здійснюється за лінією синхронізації. Технічні характеристики та параметри осцилографа типу RIGOL DS1102C наведено в табл. 2.5.

Вимірювальний пристрій типу ДУК-66 формує амплітудне значення імпульсів зондування до 2 кВ, це дозволяє здійснювати реєстрацію малих рівнів сигналів, що віддзеркалюються від структури з неоднорідністю, на фоні теплових складових шумів вимірювальних пристроїв. Перетворення сигналів до цифрової форми виконується зі застосуванням осцилографа типу RIGOL DS1102C, який має частоту дискретизації 10 МГц. Це значення частоти дозволяє здійснювати цифрову обробку сигналів з високими показниками точності. Величина інструментальної похибка під час вимірювання часового інтервалу дорівнює інтервалу дискретизації аналого-цифрового перетворювача:

$$\Delta t_{\text{д}} = \frac{1}{f_{\text{д}}} = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 100 \cdot 10^{-9} = 100 \text{ нс.}$$

Величина інструментальна похибка під час вимірювання значення амплітуди залежить від кількості розрядів аналого-цифрового перетворювача, що дорівнює величині кроку квантування. Кількість розрядів АЦП складає 8, тому повний діапазон його вихідного коду дорівнює $2^8=256$, а значення кванту складає $1/256$ від повної шкали, що дорівнює 0,39 %.

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики цифрового осцилографа типу RIGOL DS1102E

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Смуга пропускання	МГц	100
Частота дискретизації в реальному масштабі часу	Гвибірок/с	1
Значення вхідного імпедансу	МОм	$1 \pm 2\%$
Час горизонтальної розгортки	с/ділення	від $1 \cdot 10^{-9}$ до 50
Кількість каналів	шт.	2 + можливість зовнішнього запуску
Об'єм пам'яті	Mpts	1
Величина чутливості за вертикальною розгорткою	В/ділення	від $2 \cdot 10^{-3}$ до 10
Дозвіл за вертикаллю	Біт	8
Режим запуску розгортки		автоматичний, нормальний, однократний
Відносне значення похибки часових інтервалів	%	$\pm 0,01$
Максимальне значення вхідної напруги	В	400
Зберігання результатів вимірювання		10 осцилограм

Однією з характерних особливостей зазначених перетворювачів є виникнення в межах зони контакту призми та об'єкта дослідження імпульсу релеєвської хвилі R , який віддзеркалюється до приймальної призми, це явище називається пролазом. Схему виникнення явища пролаза релеєвської хвилі наведено на рис. 2.7. Для зменшення впливу якості акустичного контакту, що може бути різним під час змінення шару рідини, що контактує, та поверхні, що має нерівності, необхідно застосовувати як опорне значення амплітуди

імпульсу пролаза релеєвську хвилі U_R . Пролаз релеєвської хвилі є нестабільним, на відміну від вимірювального сигналу тому, що його значення залежить від стану поверхні, що досліджується. Якщо застосовується п'єзоелектричний перетворювач поперечних хвиль, то амплітудне значення цього сигнал практично дорівнює нулю. Отже, застосування імпульсу релеєвської хвилі як опорного сигналу є єдиним способом зменшення впливу якості акустичного контакту.

Застосування імпульсу пролаза релеївської хвилі як опорного сигналу під час аналізу акустичних складових шумів можна на робочій частоті 2,5 МГц зі застосуванням вимірювального пристрою типу УД9812, основні технічні характеристики та параметри якого наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні технічні характеристики та параметри дефектоскопа УД9812

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Методи ультразвукового вимірювального контролю		відлуння, відлуння-тіньовий, дзеркальний, дзеркально-тіньовий
Амплітудне значення імпульсу зондування на навантаження 50 Ом	В	250
Діапазон зміни імпульсу зондування	нс	від 40 до 888
Межі затримки розгортки щодо імпульсу зондування	мкс	від 2 до 1988
Діапазон зміни частоти приймача	МГц	від 0,6 до 12; від 0,8 до 12; від 1,2 до 12; від 0,6 до 6,5; від 0,8 до 6,5; від 1,2 до 6,5
Межі регулювання чутливості	дБ	від 0 до 80 з кроком 0,5 дБ

Продовження таблиці 2.6

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Відображення сигналу		детектований, високочастотний
Розрядність аналого-цифрового перетворювача	біт	8
Частота дискретизації аналого-цифрового перетворення	МГц	80
Межі зміни регулювання чутливості за часом	дБ	80
Інтерфейс передачі повідомлень		USB

Зі застосуванням блоку часового керування чутливості можна забезпечити однакове значення пролазу релеєвської хвилі та вимірювального вихідного сигналу, причому величина глибиною регулювання складає 29 дБ.

Величина інструментальної похибки результату вимірювання амплітудного значення вихідного сигналу дорівнює кроку квантування аналого-цифрового перетворювача, що складає $1/2^8=1/256$, та становить 0,39 %.

3 РОЗРОБКА БЛОКУ ОБРОБКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ

3.1 Визначення величини швидкості акустичних коливань у сталі

Під час розміщення перетворювача релеєвських хвиль на поверхні досліджуваного металевго зразка залізничної рейки до цифровому індикатора виводиться значення частоти автоматичної циркуляції $f_{\text{ц}}$. Як наведено на рис. 2.2, вимірювання здійснюється в двох положеннях перетворювача: за огиноючою, тобто поперечному положенні та поздовжньому.

Вимірювальне значення частоти автоматичної циркуляції $f_{\text{ц}}$ виводиться в кГц, яке потім перераховується до абсолютної величини швидкості релеєвських хвиль у нижче наведеному порядку. Значення частоти $f_{\text{ц}}$ є зворотною величиною від часу $t_{\text{ц}}$ проходження ультразвукових коливань від випромінюючої до приймальної п'єзоелектричної пластини:

$$f_{\text{ц}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}}.$$

Значення часу $t_{\text{ц}}$ складається з двох проміжків: затримки ультразвукових коливань у призмі вимірювального перетворювача $t_{\text{пп}}$ та часу розповсюдження релеєвської хвилі за досліджуваним зразком залізничної рейки $t_{\text{р}}$:

$$t_{\text{ц}} = 2 \cdot t_{\text{пп}} + t_{\text{р}}.$$

Величину часу розповсюдження поздовжнього ультразвукового коливання у вимірювальній призмі можна розрахувати як:

$$t_{\text{ПР}} = \frac{l_{\text{ПР}}}{C_{\text{ПР}}}.$$

Величину часу розповсюдження релеєвського ультразвукового коливання у досліджуваному зразку можна визначити за співвідношенням:

$$t_{\text{R}} = \frac{l_{\text{ОК}}}{C_{\text{R}}}.$$

Після підстановки до формули та аналітичного скорочення співвідношення отримаємо розрахункову формулу для:

$$C_{\text{R}} = \frac{l_{\text{ОК}} \cdot f_{\text{Ц}} \cdot C_{\text{ПР}}}{C_{\text{ПР}} - 2 \cdot l_{\text{ПР}} \cdot f_{\text{Ц}}}.$$

Значення швидкості розповсюдження поздовжньої хвилі у призмі вимірювального перетворювача, який зроблений з органічного склад дорівнює $C_{\text{ПР}} = 2670 \text{ м/с}$. Значення відстані, що проходить ультразвукове коливання в призмі дорівнює $l_{\text{ПР}} = 0,016 \text{ м}$. Значення відстані, що проходить ультразвукове коливання у досліджуваному середовищі дорівнює $l_{\text{ОК}} = 0,05 \text{ м}$, отже:

$$C_{\text{R}} = \frac{133,5 \cdot f_{\text{Ц}}}{2670 - 0,032 \cdot f_{\text{Ц}}}.$$

Довірчі межі випадкової складової похибки результату вимірювання можна визначити за такою формулою:

$$\varepsilon = t_{\text{СТ}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

де x_i – значення i -го результату вимірювання;

$\bar{x}$ – середнє значення результату вимірювання;

$t_{\text{СТ}}$ – значення коефіцієнта Стюдента, яке залежить від кількості виконаних вимірювань n та значення довірчої вірогідності P , величину якої прийнято 0,95.

Під час дослідження величини швидкості розповсюдження поперечних ультразвукових коливань застосовується описаний сумісний електромагнітний та акустичний метод. Ультразвукові коливання в двох напрямках, які є перпендикулярними між собою, розповсюджуються за товщиною зразка залізничної рейки, віддзеркалюються від поверхні та вимірюються приймальною котушкою. Цифровий вихідний вимірювальний сигнал представляється як графічна залежність, що наведено на рис. 2.5, де позначено: t_{12} – проміжок часу між першим і другим вимірювальним імпульсом, t_{23} – між другим і третім, t_{34} – між третім і четвертим. Ця графічна залежність має результати усереднення за 32 вимірюваннями, у кожному досліджуваному зразку залізничної рейки здійснюється 5 таких результатів вимірювання.

Поздовжня поляризація утворюється з поперечного ультразвукового коливання в середовищі, де частинки змінюються вздовж напрямку розповсюдження, а поперечна поляризації утворюється за огиноючою.

Товщина стінки складає 15,7 мм. З обліком того, що ультразвукове коливання від моментів збудження до здійснення вимірювання проходить два рази за товщиною стінки, тому величину швидкості поперечної хвилі можна визначити зі застосуванням такого співвідношення:

$$C_t = \frac{2 \cdot 0,0157}{t_{\text{БР}}},$$

де $t_{\text{БР}}$ – проміжок часу між двома імпульсами.

Під час розрахунку застосовувалися проміжки часу t_{12} – між першим і другим імпульсами, t_{23} – між другим і третім та t_{34} – між третім і четвертим, як наведено на рис. 2.5.

3.2 Визначення величини акустичних шумів у сталій рейці під час її розтягування

Імпульси, що формуються під час зворотного розсіювання ультразвукових коливань на структурі, що має неоднорідності, генерують шумову складову, яка представлена у вигляді окремих піків, що розташовано доволі близько між собою, на екрані вимірювального осцилографа. Осцилограми вихідного сигналу вимірювального перетворювача поперечних хвиль досліджуваного зразка сталі типу 09Г2С наведено на рис. 3.1, де позначено: ІЗ – імпульс зондування, R – пролаз релеєвської хвилі, СШ – структурні шуми.

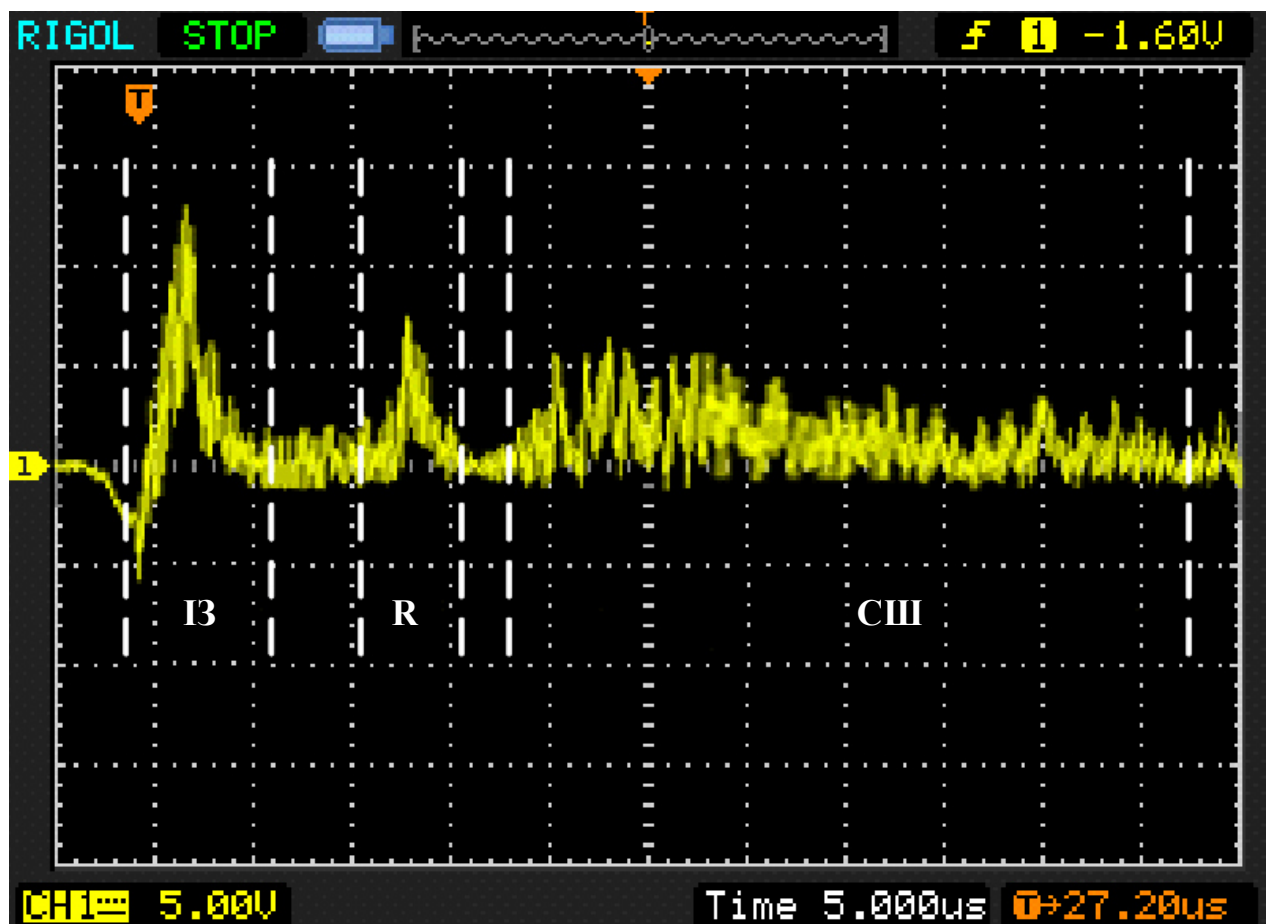


Рисунок 3.1 – Осцилограми вихідного сигналу вимірювального перетворювача поперечних хвиль досліджуваного зразка сталі типу 09Г2С

Вимірювальні данні в файлах, що зберігаються зі застосуванням вбудованої функції цифрового осцилографа, аналізуються зі застосуванням пакету прикладних програм MathCAD.

На рис. 3.1 наведено позначення інтервалів часу, які відповідають області ІЗ – імпульсів зондування ЗІ, R – пролаза релеєвської хвилі, а також СШ – структурних шумів (СШ). На кожному з етапів аналізу характеристик і параметрів досліджуваного зразка зберігається вид осцилограми.

З обліком того, що значення шумової складової обумовлено інтерференцією хвиль, яка утворюється під час розсіювання великої кількості разів на зразку металу, що має неоднорідність, тому для обробки результатів досліджень визначається інтегральне значення шуму U_{SN} . Це значення розраховується під час інтегрування за всією ділянкою зразка дослідження.

Інтегрування виконано в пакеті прикладних програм MathCAD після реалізації інтерполяції сигналу. Блок-схему алгоритму визначення середнього значення амплітуди структурного шуму наведено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму визначення середнього значення амплітуди структурного шуму

Принцип роботи алгоритму розглянуто на прикладі обробки однієї серії результатів вимірювання. Графічна залежність, яка отримано за дискретними точками, що побудовано в MathCAD наведено на рис. 3.3.

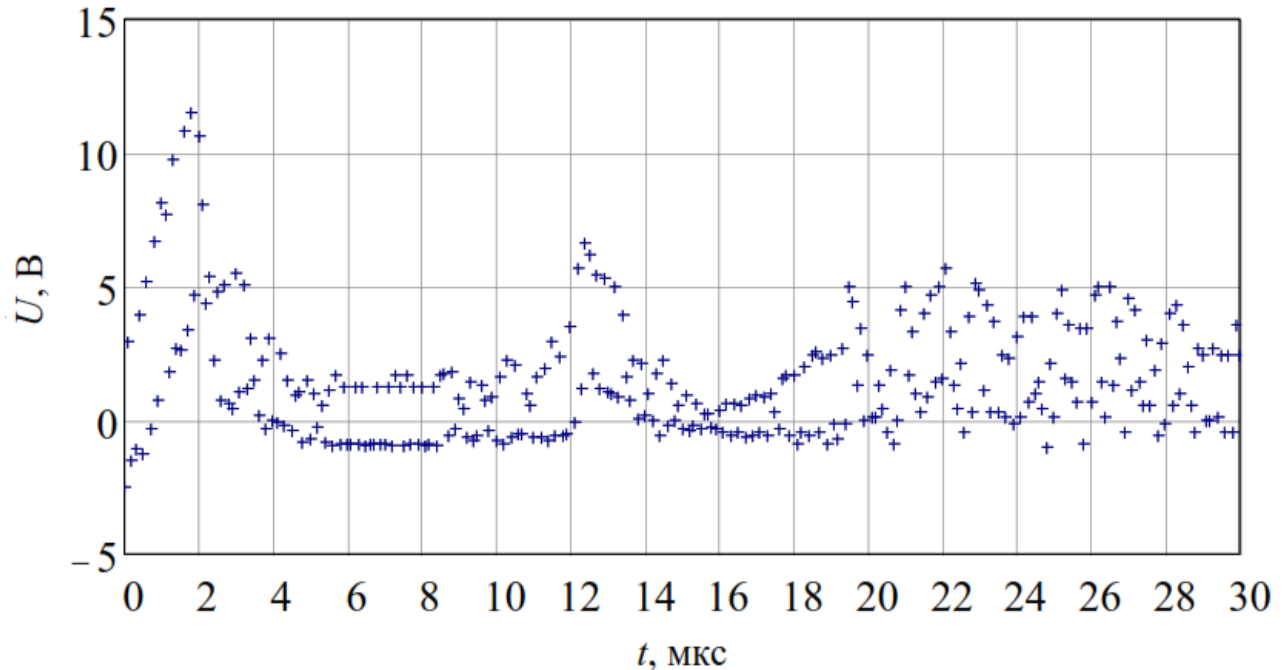


Рисунок 3.3 – Графічна залежність за дискретними точками

Наведену графічну залежність отримано з набору дискретних значень, тому інтегрування виконується за безперервним графіком. Під час цього однією з умов здійснення інтегрування є безперервний характер підінтегральної функції. Для отримання цього безперервного виду використано лінійну інтерполяцію графічної залежності зі застосуванням функції «*linterp*» у пакеті прикладних програм MathCAD.

Результат лінійної інтерполяції в пакеті прикладних програм MathCAD наведено на рис. 3.4, де позначено області: ІЗ – імпульсів зондування; R – пролазу релеєвської хвилі; СШ – структурних шумів, які мають місце в зоні корсетного вирізу досліджуваного зразка залізничної рейки.

Отримана графічна залежність має три області за часовою координатою: у першій має місце імпульси зондування, друга обумовлена пролазом релеєвської хвилі, а третя визначається структурним шумами.

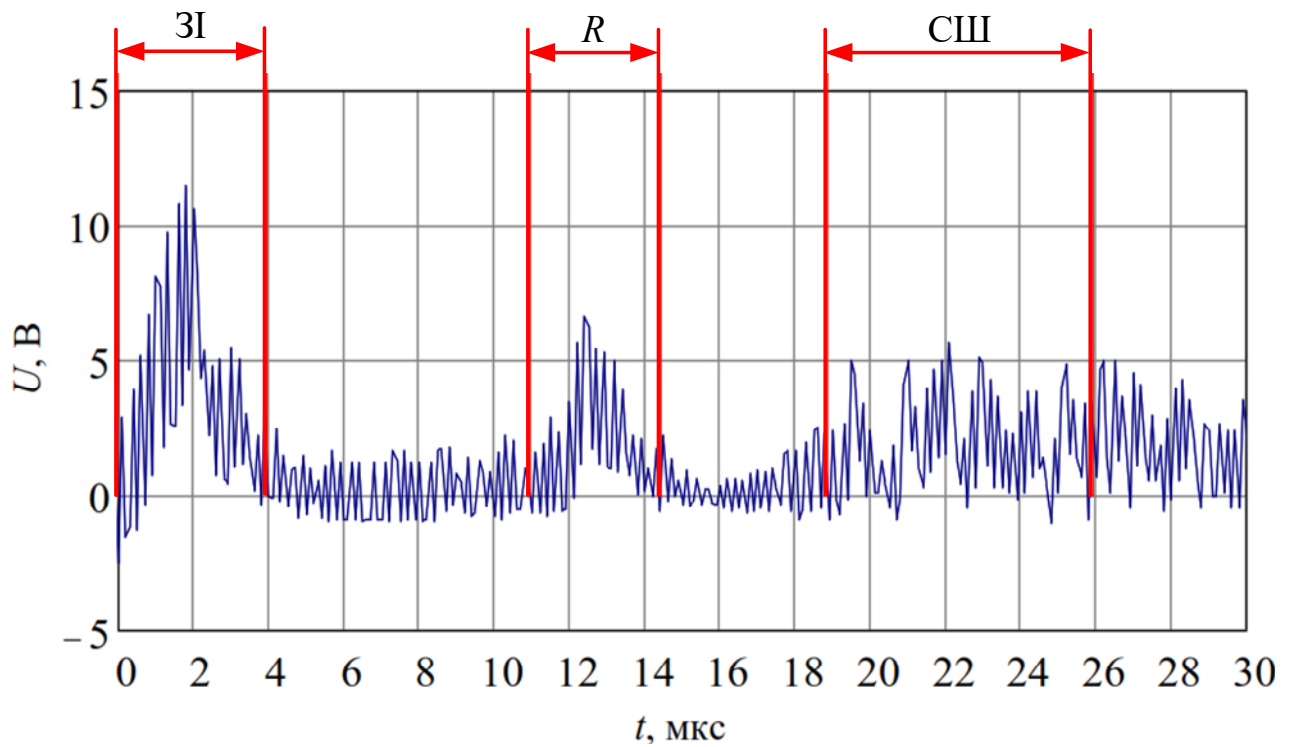


Рисунок 3.4 – Сигнал після інтерполяція дискретних точок в MathCAD

Області структурних шумів у зоні корсетного вирізу досліджуваного зразка відповідає інтервал за часом від 19 до 26 мкс, тому межі інтегрування визначаються цим проміжком часу.

З обліком того, що вимірювальний сигнал передається від дефектоскопа ДУК-66 до цифрового осцилографа Rigol має випрямлене значення, тому визначення усередненого рівня шумової складової можна за такою формулою:

$$U_{\text{SN}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \left| \int_{t_1}^{t_2} U dt \right|,$$

де U – вихідний безперервний сигнал після інтерполяції, В;

t_1 та t_2 – нижня та верхні межі інтервалу часу для аналізу рівня шумової складової, с.

У розглянутому прикладі $t_1 = 19$ мкс та $t_2 = 26$ мкс, що відповідає проміжку часу дії поперечних ультразвукових коливань в зоні корсетного вирізу досліджуваного зразка залізничної рейки (див. рис. 3.1). Як опорний

сигнал, який застосовується для компенсації впливу якості акустичного контакту, застосовується пролаз релеєвської хвилі U_R . Рівень цього сигналу визначається як максимальне амплітудне значення у відповідному проміжку часу в пакеті прикладних програм MathCAD.

Під час розташування вимірювального перетворювача поперечних ультразвукових коливань хвиль на поверхні досліджуваного об'єкта на моніторі цифрового осцилографа має місце осцилограма (див. рис. 3.1), за часовою областю якої можна виділити три ділянки: ІЗ – імпульсів зондування; R – пролазу релеєвської хвилі, що має місце в застосованому типі вимірювального перетворювача, СШ – структурних шумів.

На кожній ділянці залізничної рейки здійснюється 10 вимірювань, які розподілені рівномірно за довжиною досліджуваного зразка. Алгоритм обробки результатів вимірювання є аналогічним. Графічна залежність результатів інтерполяції вимірювальних значень в пакеті прикладних програм MathCAD наведено на рис. 3.5.

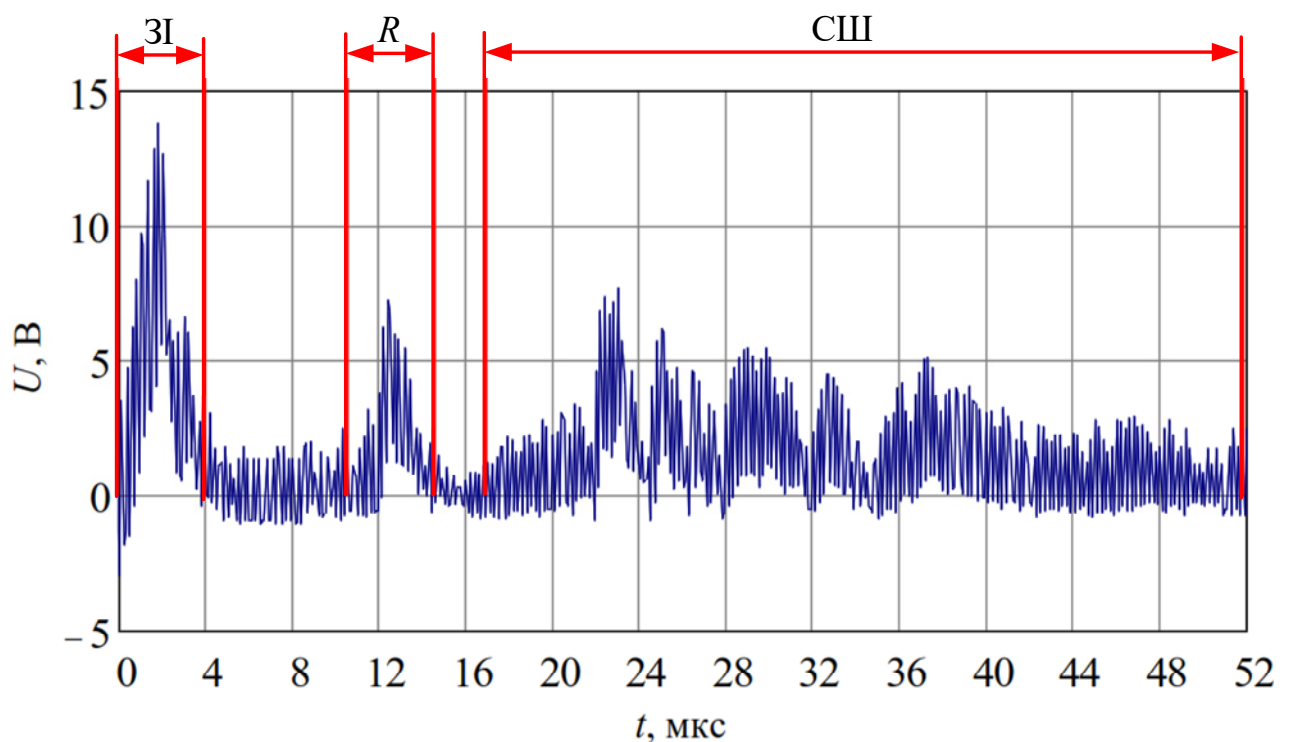


Рисунок 3.5 – Графічна залежність результатів інтерполяції дискретних значень для визначення рівня акустичних шумів у залізничній рейці

Значення усередненого рівня шумової складової U_{SN} визначається на проміжку часу від $t_1 = 17$ мкс до $t_2 = 52$ мкс. Зазначений проміжок часу визначається розповсюдженням ультразвукових коливань від поверхні голівки залізничної рейки до її грані під голівкою та зворотній шлях. На часовій ділянці, що знаходиться в області більше ніж 52 мкс, істотно впливає віддзеркалення ультразвукових коливань.

У пакеті прикладних програм MathCAD розраховано середнє значення шумової складової U_{SN} та визначено рівень пролазу релеєвської хвилі U_R для кожного з результатів вимірювання. Це значення визначено як максимальне на ділянці, що відповідає інтервалу часу від 11 мкс до 14 мкс. Для компенсації впливу якості акустичного контакту для вимірювального перетворювача та поверхні залізничної рейки визначено відношення величини шумової складової до пролазу релеєвської хвилі U_{SN}/U_R .

Для обліку впливу величини зернистості та розділення впливу структурних змін в околиці поверхні катання, що має місце під час контактної втоми, виконано визначення розподілу рівня шумової складової за шарами головки залізничної рейки. Для реалізації цього виконано аналіз осцилограм за схемою, яку наведено на рис. 3.6. За нульовий проміжок часу взято точку, де вводиться ультразвукове коливання.

Визначення рівня шумової складової та здійснення усереднення за 10 вимірюваннями, які мають місце в різних точках головки залізничної рейки повинно здійснюватися в часовій області, що має вікно в 5 мкс за кожним шаром окремо. На кожній залізничній рейці повинно виконуватися 10 вимірювань, що є розподіленими рівномірно за довжиною.

Розрахунок значення швидкості релеєвських хвиль повинно здійснюватися відносно швидкості еталону СО-2, так співвідношення між швидкостями релеєвської C_R та поперечної C_t хвилі має такий вигляд:

$$C_R \approx 0,93 \cdot C_t.$$

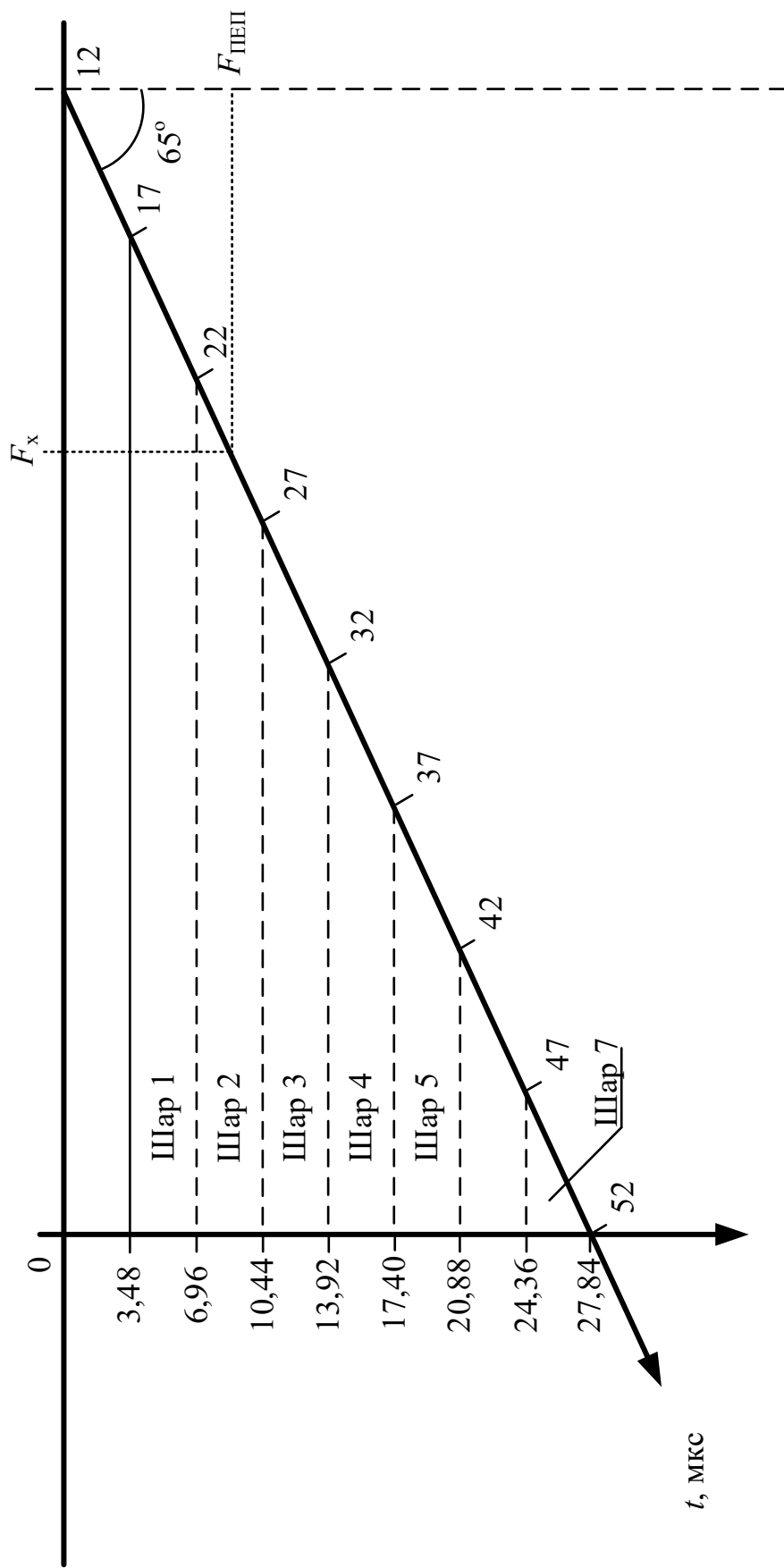


Рисунок 3.6 – Визначення рівня акустичних шумів за шарами залізничної сталіної рейки

Значення швидкості розповсюдження ультразвукових поперечних коливань за еталоні СО-2 дорівнює $C_{t\text{CO-2}} = 3260 \text{ м/с}$, отже величина швидкості релеєвської хвилі СО-2 складає $C_{R\text{CO-2}} \approx 3031,8 \text{ м/с}$. Якщо відоме значення бази вимірювального перетворювача, можна розрахувати величину часу розповсюдження релеєвської хвилі в еталоні СО-2:

$$t_{R\text{CO-2}} = \frac{0,14 \text{ м}}{3031,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 46,117 \text{ мкс.}$$

Для еталона СО-2 виконано 5 вимірювання швидкості розповсюдження релеєвських хвиль. Для розрахунку повинно застосовуватися усереднене за п'ятьма графіками величина часу затримки Δt_R релеєвської хвилі в залізничній рейці відносно еталону СО-2 зі застосуванням кореляційного методу.

Величину відносної зміни швидкості розповсюдження релеєвських хвиль у залізничних рейках $\Delta C_{R\text{відн}}$ можна розрахувати за співвідношенням:

$$\Delta C_{R\text{відн}} = \frac{C_{R\text{рейка}} - C_{R\text{CO-2}}}{C_{R\text{CO-2}}} \cdot 100 \%,$$

де $C_{R\text{CO-2}}$ – швидкість розповсюдження релеєвських хвиль в еталоні СО-2, м/с;

$C_{R\text{рейка}}$ – швидкість розповсюдження релеєвських хвиль в залізничній рейці, м/с.

Значення швидкості розповсюдження релеєвських хвиль у залізничній рейці $C_{R\text{рейка}}$ визначається за формулою:

$$C_{R\text{рейка}} = \frac{l_{\text{ЕМАП}}}{t_{R\text{рейка}}},$$

де $t_{R \text{ рейка}}$ – час розповсюдження релеєвської хвилі в залізничній рейці, с.

Значення швидкості розповсюдження релеєвських хвиль в еталоні $C_{R \text{ CO-2}}$ визначається за формулою:

$$C_{R \text{ CO-2}} = \frac{l_{\text{ЕМАП}}}{t_{R \text{ CO-2}}}.$$

З обліком визначеної величини часові затримки Δt_R релеєвської хвилі в залізничній рейці відносно еталону, зі застосуванням кореляційного методу можна визначити за співвідношенням:

$$C_{R \text{ рейка}} = \frac{l_{\text{ЕМАП}}}{t_{R \text{ CO-2}} + \Delta t_R}.$$

Величину відносної зміни швидкості розповсюдження релеєвських хвиль у залізничних рейках $\Delta C_{R \text{ відн}}$ можна визначити зі застосуванням такого співвідношення:

$$\Delta C_{R \text{ відн}} = -\frac{\Delta t_R}{t_{R \text{ CO-2}} + \Delta t_R} \cdot 100 \ %.$$

Розроблено методику визначення швидкості розповсюдження релеєвських ультразвукових хвиль зі застосуванням еталону СО-2 та кореляційної залежності між формами вимірювальних вихідних сигналів перетворювача.

ВИСНОВКИ

Під час аналізу методів акустичного визначення структури матеріалу для дослідження поверхневого стану головки залізничних рейок запропоновано застосовувати акустичні шуми та визначати швидкість розповсюдження релеєвських хвиль, тому що цей метод має найбільшу величини чутливості щодо зміни інформативних параметрів вимірювального контролю. Під час експлуатації залізничних рейок має місце зниження їх властивостей завдяки зношенню головки, а також утворенню дефектів на поверхні та всередині сталі. На поверхні залізничних рейок з тоннажем 500 млн. тон має місце підвищення мікроскопічної твердості в 1,5 рази, проте це значення є трохи меншим в 1,4 рази для залізничних рейок з тоннажем 1000 млн. тон у порівнянні з початковим їх станом. Наявність шару, де має місце невелика кількість вуглецю, що виникає під час виробництва рейок, зменшує показники твердості та опір металу щодо механічного пошкодження. Наявність цього фактору істотно збільшує зношення рейки та сприяє виникненню тріщини.

Розроблений електронний пристрій вимірювання швидкості розповсюдження релеєвських і об'ємних ультразвукових хвиль, які діють у двох напрямках, що є взаємно-перпендикулярними, дозволяє ідентифікувати анізотропну властивість сталі залізних рейок.

У розробленому пристрої реалізовано спосіб визначення рівня шумової складової в об'єкті вимірювального контролю, який дозволяє компенсувати якість акустичного контакту. Це дозволить збільшити точність результатів вимірювання завдяки застосуванню рівня пролаза релеєвської хвилі та не потребує доступу до протилежної грані об'єкта вимірювального контролю.

Розроблено методику визначення швидкості розповсюдження релеєвських ультразвукових хвиль зі застосуванням еталону СО-2 та кореляційної залежності між формами вимірювальних вихідних сигналів перетворювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4344:2004. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови. – Введ. 2005-10-01. – К.: Національний стандарт України, 2004. – 25 с.
2. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры. – Введ. 1957-07-01. – К.: Національний стандарт України, 2019. – 12 с.
3. Громов, В.Е. Микроструктура закаленных рельсов / В.Е. Громов, А.Б. Юрьев, К.В. Морозов и др. – Новокузнецк: Интер-Кузбасс, 2014. – 213 с.
4. Юрьев, А.Б. Развитие производства рельсов из непрерывнолитых заготовок электростали / А.Б. Юрьев // Металлург, 2008. – №2. – С. 44 – 45.
5. Павлов, В.В. Качество железнодорожных рельсов из непрерывнолитых заготовок электросталеплавильного способа производства / В.В. Павлов, В.П. Дементьев, В.В. Могильный // Сталь, 2003. – №12. – С. 62 – 64.
6. Полевой, Е.В. Сравнительный анализ микроструктуры и свойств дифференцированно и объемно термоупрочненных рельсов / Е.В. Полевой, А.Б. Добужская, М.В. Темлянцев // Вестник Сибирского Государственного индустриального университета, 2016. – №2. – С. 18 – 22.
7. Громов, В.Е. Дegradaция структуры и свойств металла рельсов при длительной эксплуатации / В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, О.А. Перегудов и др. // Успехи физики металлов, 2016. – №3. – С. 253 – 296.
8. Громов, В.Е. Природа упрочнения рельсов при длительной эксплуатации / В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, К.В. Морозов и др. // Многофункциональные конструкционные материалы нового поколения, 2015. – С. 62 – 74.
9. Иванов, Ю.Ф. Природа деградации структуры поверхности рельсов при эксплуатации / Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов, А.М. Глезер и др. // Известия РАН. Серия физическая, 2016. – №12. – С. 1682 – 1687.
10. Иванов, Ю.Ф. Эксплуатация рельсовой стали: деградация структуры и

свойств поверхностного слоя / Ю.Ф., Иванов, К.В., Морозов, О.А., Перегудов и др. // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2016. – №8. – С. 576 – 580.

11. Иванов, Ю.Ф. Эволюция структурно-фазовых состояний рельсов при длительной эксплуатации / Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов, О.А. Перегудов и др. // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2015. – № 4. – С. 262 – 266.

12. Морозов, К.В. Сравнительный анализ структурно-фазового состояния и дефектной субструктуры объемно и дифференцированно закаленных рельсов / К.В. Морозов, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов и др. // Металлург, 2016. – №4. – С. 72 – 76.

13. Ващенко, А.И. Окисление и обезуглероживание стали / А.И. Ващенко, А.Г. Зеньковский, А.Е. Лифшиц и др. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с.

14. Дальский, А.М. Технология конструкционных материалов. / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.

15. Zinchenko, S.A. Measuring the depth of decarburized layer by magnetic noise method / S.A. Zinchenko, M.I. Makhnev etc // Сталь, 2005. – №5. – P. 101 – 103.

16. Stupakov, O. Evaluation of surface decarburization depth by magnetic Barkhausen noise technique / O. Stupakov, O. Perevertov, I. Tomáš, etc // Journal of magnetism and magnetic materials, 2011. – № 323 (12). – P. 1692 – 1697.

17. Труэлл, Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. – М.: Мир, 1972. – 307 с.

18. Murav'ev, V.V. An analysis of the comparative reliability of acoustic testing methods of bar stock from spring steels / V.V. Murav'ev, O.V. Murav'eva, V.A. Strizhak // Journal of Nondestructive Testing, 2014. – № 8. – P. 435 – 442.

19. Муравьев, В.В. Методика определения акустических структурных шумов металла / В.В. Муравьев, О.В. Муравьева, А.В. Байтеряков и др. // Интеллектуальные системы в производстве, 2013. – № 1 – С. 143 – 149.

20. Дефектоскоп ультразвуковой импульсный ДУК-66. Техническое описание, 1976. – 25 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об’ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$