

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

Чміль Валентин Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.179

(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**Розроблення пристрою для магнітного контролю  
ферромагнітних виробів**

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 - Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня В.І. Чміль

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Клочко Наталія Богданівна к.т.н., доц.

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

**Допущено до захисту**

**Завідувач кафедри**

Віталій ЦИХ

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

**Івано-Франківськ – 2025**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 175-Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІВТЕМ

В.С. Цих

«   »                      20   року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Чмілю Валентину Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення пристрою для магнітного контролю феромагнітних виробів

керівник роботи Клочко Наталія Богданівна, к.т.н., доц.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від "30" квітня 2025 року № 269/7

2. Строк подання студентом роботи 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Тип коерцитиметра – приставний; тип чутливого елемента – перетворювач Холла; вид об'єкту контролю – трубопроводи сталеві, товщиною стінки до 12 мм; коерцитивна сила :  $1 \div 20$  А/см.

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

1. Аналіз методів контролю металоконструкцій

2. Розробка пристрою для контролю металоконструкцій коерцитивним методом

3. Метрологічний аналіз коерцитиметра

4. Охорона праці

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

1. Кореляційні залежності між магнітними і механічними властивостями.

2. Структурна схема коерцитиметра.

3. Схема електрична принципова аналого-цифрового перетворювача.

4. Первинний перетворювач коерцитиметра.

5. Метрологічний аналіз коерцитиметра.

6. Руйнівні методи визначення твердості виробів

7. Магнітні властивості феромагнітних матеріалів

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М., доц. каф. ТЗНС та БП		
нормо контроль	Лютак З.П., проф. каф. ІВТЕМ		

7. Дата видачі завдання 05.05.2025р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	15.05.2025	
2.	<i>Аналіз методів контролю металоконструкцій</i>	01.06.2025	
3.	<i>Розробка пристрою для контролю металоконструкцій коерцитивним методом</i>	10.06.2025	
4.	<i>Метрологічний аналіз коерцитиметра</i>	15.06.2025	
5.	<i>Охорона праці</i>	15.06.2025	
6.	<i>Оформлення бакалаврської роботи</i>	20.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Чміль В.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Клочко Н.Б.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 73с., 11 рис., 18 табл., 34 джерела, 7 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження – магістральні трубопроводи.

Мета роботи – розробка пристрою для контролю металоконструкцій коерцитивним методом.

Метод дослідження – фізичний з використанням математичного моделювання .

Механічні характеристики ( твердість, напружено-деформовний стан) металоконструкцій визначають стан конструкцій в цілому. Напружено-деформовний стан являється переддефектним станом металоконструкцій. Встановлено, що контроль таких металоконструкцій , як магістральні трубопроводи , з використанням коерцитивного методу дозволяє визначати і контролювати напружено-деформовний стан і твердість останніх.

Здійснена розробка структурної схеми і конструювання вузлів коерцитиметра. Здійснений метрологічний аналіз коерцитиметра. Розглянуті питання безпечної експлуатації коерцитиметра і охорони праці дефектоскопістів.

ТРУБОПРОВІД, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВНИЙ СТАН, ДЕФЕКТ, КОЕРЦИТИМЕТР, ПЕРВИННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ОБ'ЄКТ КОНТРОЛЮ, ЕЛЕКТРОМАГНІТ.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis: 73p., 11 fig., 18 tables, 34 sources, 7 sheets of drawings.

The object of the study is main pipelines.

The purpose of the work is to develop a device for controlling metal structures by the coercive method.

The research method is physical using mathematical modeling.

Mechanical characteristics (hardness, stress-strain state) of metal structures determine the state of structures as a whole. The stress-strain state is a pre-defective state of metal structures. It has been established that the control of such metal structures as main pipelines using the coercive method allows determining and controlling the stress-strain state and hardness of the latter.

The structural diagram and construction of the coercivity meter units have been developed. A metrological analysis of the coercivity meter has been carried out. The issues of safe operation of the coercimeter and labor protection of flaw detectors are considered.

PIPELINE, STRESS-STRENGTH STATE, DEFECT, COERCITMETER, PRIMARY CONVERTER, ANALOG-DIGITAL CONVERTER, CONTROL OBJECT, ELECTROMAGNET.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз методів контролю металоконструкцій.....	9
1.1 Вибір і аналіз об'єкту контролю.....	9
1.2 Методи контролю твердості металоконструкцій.....	11
1.3 Методи контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій.....	19
1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.....	23
2 Розробка пристрою для контролю металоконструкцій коерцетивним методом.....	24
2.1 Теоретичні аспекти практичної реалізації коерцетивного методу контролю металоконструкцій.....	24
2.2 Розробка структурної схеми коерцетиметра.....	35
2.3 Розрахунок первинного перетворювача коерцитиметра.....	37
2.4 Розрахунок алгоритму роботи аналого-цифрового перетворювача....	42
2.5 Проектування друкованої плати аналого-цифрового перетворювача .....	44
2.6 Конструювання первинного перетворювача коерцитиметра.....	47
2.7 Розробка алгоритму функціонування коерцетиметра .....	48
3 Метрологічний аналіз коерцитиметра.....	49
3.1 Аналіз складових похибки коерцитиметра.....	49
3.2 Визначення основної похибки приладу.....	50
3.3 Основи метрологічної атестації і повірки приладу.....	52
4. Охорона праці.....	56
4.1 Значення охорони праці в забезпеченні безпечних та здорових умов праці .....	56
4.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища .....	57
4.3 Забезпечення нормальних умов праці.....	59
4.4 Вимоги безпеки при роботі з коерцитиметром.....	65

4.5 Пожежна безпека .....	66
Висновки.....	69
Перелік літературних джерел.....	70

## ВСТУП

Останніми роками велика увага надається контролю якості виробів і матеріалів, який неможливий без застосування методів та засобів неруйнівного. Вимоги до забезпечення якості продукції вимагають розробки і застосування різноманітних засобів контролю. Руйнівний метод передбачає повне або часткове руйнування чи пошкодження об'єкту, що підлягає контролю. Неруйнівний контроль передбачає використання функціональних залежностей, які описують той чи інший контрольований параметр, що дає змогу оцінити якість виробу.

Кожен з методів має свої переваги, недоліки і області використання. З іншого боку використання руйнівного методу контролю в лабораторних умовах допомагає виявити залежності між механічними і магнітними властивостями металоконструкцій, що дозволяє створити відповідні номограми. Це дозволяє здійснювати неруйнівний контроль в польових умовах [3].

Контроль напружено-деформованого стану металоконструкцій та їх вузлів на рівні масової експертизи обладнання в даний час реально не виконується. Головною причиною цього являється відсутність ефективних методів і приладів, доступних рядовому експерту. Не володіючи такими даними, ситуації, яка склалася сьогодні в системі технічної діагностики, оперують переважно інформацією і поняттями дефектоскопії і механіки руйнувань – визначенням появи дефектів, їх кількістю, швидкістю розвитку тріщин і т.д. Однак більшу частину строку служби правильно розроблена, виготовлена і експлуатована конструкція не має втомних дефектів, хоча зони можливих в майбутньому руйнувань в ній не рідко починають формуватись і розвиватись уже на стадії її виготовлення і монтажу [16]. Місцезнаходження таких зон логічно обумовлено самою конструкцією і тому добре відоме, однак зараз немає інструмента стеження за їх втомним станом до того часу

однак зараз немає інструмента стеження за їх втомним станом до того часу, поки не з'являться дефекти. Таким чином, більшу частину строку

служби обладнання з моменту запуску його в експлуатацію практична експертиза не слідкує за реальним станом металу, оскільки немає можливості контролювати накопичення втомних пошкоджень на мікрорівні. Природньо, що надійний діагностичний прогноз працездатності на будь-якій стадії строку служби при такій неповноті даних є неможливим. Підтвердженням служить безліч аварій різноманітного обладнання, що стаються часто відразу після чергової і цілком благополучної планової дефектоскопії.

Практичні можливості неруйнівного коерцетивного контролю для об'єктивної оцінки стану металоконструкцій роблять його перспективним, таким, що в значній мірі доповнює традиційні методи неруйнівного контролю (наприклад, ультразвуковий) [18].

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

## 1.1 Вибір і аналіз об'єкту контролю

Серед великої різноманітності металоконструкцій розрізняють крани, трубопроводи, котли, ескалатори, ліфти, резервуари та ін. Для всіх цих металоконструкцій властивим є контроль якості матеріалу; для всіх вище перелічених об'єктів потрібно мати інформацію про напружено-деформований стан, наявні дефекти, геометричні розміри. В якості об'єкту контролю (ОК) виберемо магістральні трубопроводи, бо для них є властивими усі згадані вище характеристики. Цей об'єкт буде конкретизацією проектування в даному дипломному проекті.

Магістральними називаються трубопроводи, по яким продукт перекачується від місць видобування, переробки до місць споживання. Основною складовою магістрального трубопроводу є лінійна частина, що включає власне трубопровід з відгалуженнями і лупінгами (лінійний трубопровід, що йде паралельно основному для зменшення гідравлічного опору), запірну арматуру (служить для перекриття ділянок трубопроводу; встановлюють за звичай на ділянках переходів через природні і штучні перешкоди), переходи через перешкоди, компенсатори (призначені для зменшення поздовжніх переміщень трубопроводів, працюючих з великими температурними перепадами і лінійні споруди, призначені для забезпечення заданих режимів перекачки продукта [16].

Залежно від її характеру дії на даний ОК навантаження та впливи поділяються на постійні та тимчасові. До постійних належать навантаження та впливи, що діють протягом усього терміну будівництва та експлуатації трубопроводу (власна вага трубопроводу, тиск ґрунту на трубопровід, гідростатичний тиск води) [8].

Тимчасовими називаються навантаження та впливи, які в окремі періоди

будівництва та експлуатації можуть бути відсутніми.

Тимчасові навантаження і впливи поділяються на короточасні і тривалі. До тривалих тимчасових навантажень і впливів належать: внутрішній тиск, нормативне значення якого встановлене проектом; вага продукту; температурні впливи, які можуть тривати від декількох секунд до декількох місяців.

До короточасних належать навантаження і впливи, які можуть тривати від декількох секунд до декількох місяців. До короточасних навантажень і впливів відносяться [8]:

- нормативне снігове навантаження, що діє на 1 м<sup>2</sup> площі горизонтальної проекції трубопроводу;
- розрахункове ожеледне навантаження;
- розрахункове вітрове навантаження.

По характеру прикладення навантаження поділяються на : поверхневі (тиск продукту, вітру, снігу); об'ємні( масові) являються наслідком прояву дії сил ваги та інерції.

По характеру дії навантаження бувають:

- статичні( тиск продукту, снігове навантаження, температурне навантаження) , час прикладення яких більше в порівнянні з періодом власних пружних коливань конструкції;
- динамічні ( навантаження викликані поривами вітру або автоколиваннями ділянок трубопроводів, що знаходяться в струмні вітру , сейсмічні навантаження і т.п.) [3] .

Для аналізу ОК слід розглянути можливі дефекти даного ОК. Дефекти в основному металі труб, які можуть бути виявлені засобами НК, являються в основному дефектами заготовок. Можливими дефектами являються: неметалічні включення; дефекти серцевини; флокени; дефекти поверхні [6]. Ступінь чистоти сталі залежить від вмісту неметалічних включень. Типовими включеннями являються сульфіди та оксиди. Флокени

– це невеликі розриви матеріалу, які виникають при охолодженні листа після прокатки.

Повний аналіз даного ОК неможливий без розгляду дефектів зварних з'єднань (пори, надрізи, шлакові включення, тріщини і т.п.). Пори можуть проявлятися в різній формі з різноманітним розподіленням і в різній кількості при затвердженні зварного з'єднання. Надрізи можуть виникати внаслідок того, що стик не повністю заповнюється. Виникнення шлакових включень визначається металургічною реакцією між шлаком і краплею, яка відділяється від кінця електрода [7].

Тріщинами являються розриви матеріалу, вони розрізняються в залежності від величини (макро- та мікротріщини), характеру розміщення (поздовжні, поперечні, в з'єднанні, в зоні термічного впливу та в основному металі) та причин виникнення (холодні, гарячі, втомні). Вони можуть викликати катастрофічне руйнування зварної конструкції [16].

Гарячі тріщини виникають в зоні біля шва, які виникають внаслідок шкідливих домішок металу, малої глибини проплавлення металу при зварюванні.

Холодні тріщини виникають при температурі 100-300°C і нижче. Їх поява пов'язана з утворенням структур закалки. Холодні тріщини можуть виникати при гідравлічних вібраціях і інших видах досліджень, а також в період їх монтажу та експлуатації зварного з'єднання. Причина їх появи — розвиток гарячих мікротріщин, присутність концентратів напружень у вигляді підрізів, газових і шлакових включень, сумування зварювальних напружень з напруженнями від зовнішніх навантажень.

Втомні тріщини можуть з'явитися в зварних конструкціях, що працюють в умовах динамічних знакозмінних навантажень.

## **1.2 Методи контролю твердості металоконструкцій**

Відомо також, що механічні властивості матеріалів в значній мірі визначають працездатність виготовлених з цих матеріалів об'єктів. Однією з

найбільш розповсюджених характеристик, що визначають якість металів і сплавів, можливість їхнього застосування в різних конструкціях і при різних умовах роботи, є твердість, що являється здатністю матеріалу чинити опір проникненню в його поверхневий шар іншого тіла [3].

Показник твердості пов'язаний з показником міцності і пластичності. В результаті проби на твердість вдається визначити показники міцності матеріалу, неруйнуючи деталі. Методи вимірювання твердості можна поділити на руйнівні і неруйнівні [2].

### 1.2.1 Руйнівні методи контролю твердості

Розглянемо деякі руйнівні методи. Найбільшого поширення отримало вимірювання твердості вдавлюванням у досліджуваний метал індентора у вигляді кульки, конуса і піраміди ( відповідно методи Брінеля, Роквела і Вікерса). У результаті вдавлювання за допомогою великого навантаження поверхневі шари металу, що знаходяться під наконечником і поблизу нього, пластично деформуються. Після зняття навантаження залишається відбиток. Величина проникнення наконечника в поверхню металу буде тим менше, чим твердішим є досліджуваний матеріал [3].

Твердість по методу Брінеля вимірюють вдавлюванням у досліджуваний зразок сталеві кульки визначеного діаметра  $D$  під дією заданого навантаження  $P$  протягом визначеного часу (рис. 1.1). У результаті вдавлювання кульки на поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) діаметром  $d$ . Число твердості по Брінелю, що позначається  $HB$ , являє собою відношення навантаження  $P$  до площі поверхні сферичного відбитка  $F$  і вимірюється в  $\text{кгс}/\text{мм}^2$  або  $\text{МПа}$  [3].

$$HB = \frac{P}{F} \quad (1.1)$$

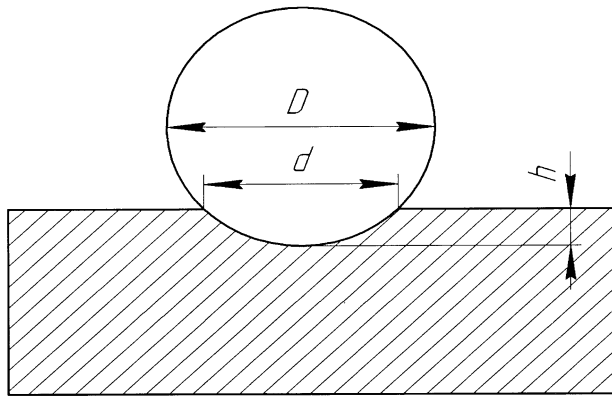


Рисунок 1.1 – Схема вимірювання твердості по методу Брінеля

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.2)$$

Для преведення твердості по Брінеллю в одиниці СІ необхідно помножити число твердості в кгс/мм<sup>2</sup> на 9,81, т.б.  $HB = 9,81 \cdot HB$  (Мпа).

Визначення твердості HB проводиться на пресі Брінеля (твердомір типу ТШ)

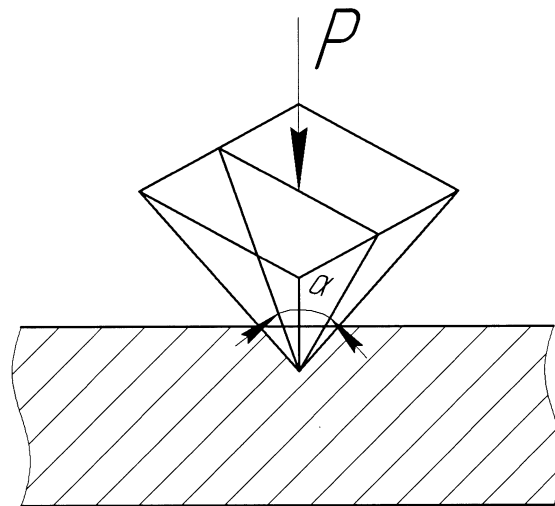
Даний метод має ряд недоліків. Оскільки, метод Брінеля є руйнівним, при цьому ОК повинен мати рівну поверхню, очищену від окалини та інших сторонніх речовин. Його обмеженням є можливість досліджувати зразки з твердістю не більше HB 4500 МПа.

При вимірюванні твердості по методу Вікерса в поверхню матеріалу вдавлюється алмазна чотиригранна піраміда з кутом при вершині  $\alpha = 136^\circ$  (Рис.1.2). Після зняття навантаження вимірюється діагональ відбитка  $d_1$ . Число твердості по Вікерсу HV обчислюється як відношення навантаження P до площі поверхні пірамідального відбитка M [8].

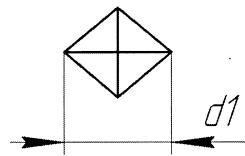
$$HV = \frac{P}{M} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d_1^2} = 1,84 \frac{P}{d_1^2} \quad (1.3)$$

Число твердості по Вікерсу позначається символом HV із вказівкою навантаження P і часу витримки під навантаженням, причому розмірність числа твердості ( кгс/мм<sup>2</sup> ) не ставиться. Тривалість витримки індентора під навантаженням приймають для сталей 10 - 15 с, а для кольорових металів –

30 с. Наприклад,  $450 HV_{10/15}$  означає, що число твердості по Вікерсу 450 отримане при  $P=10\text{кгс}$  (9,81 Н), прикладеної до алмазної піраміди протягом 15 с [12].



a)



а) схема вимірювання

б) схема відбитку

Рисунок 1.2 – Схема вимірювання твердості по Вікерсу

Переваги методу Вікерса можна випробувати матеріали більш високої твердості завдяки застосуванню алмазної піраміди. Але інші недоліки притаманні методу Брінеля є також властивими і для методу Вікерса.

При вимірюванні твердості по Роквелу індентором являється алмазний конус. На відміну від методу Брінеля твердість визначають за глибиною відбитку, а не за його площею. Глибина відбитку вимірюється в самому процесі вдавлювання, що значно спрощує дослідження. Навантаження прикладається послідовно у дві стадії : спочатку попередня, зазвичай рівна 10кгс ( для усунення впливу пружної деформації і різного

рівня шорсткості), а потім основна. Після прикладення попереднього навантаження, основне навантаження індикатор, що вимірює глибину, встановлюється на нуль. Після отримання відбитку в результаті прикладення остаточного навантаження, основне навантаження знімають і вимірюють остаточну глибину проникнення наконечника  $t$ . того фізичного змісту, що мають числа твердості по Брінелю, однак можна знайти співвідношення між ними з допомогою спеціальних таблиць [10].

При вимірюванні твердості на приладі Роквела необхідно, щоб на поверхні зразка не було окалини, тріщин і ін. Необхідно контролювати перпендикулярність прикладення навантаження і поверхні зразка і стійкість його положення на столі приладу.

Твердість слід вимірювати не менше 3 разів на одному зразку та усереднити отримані результати.

Перевагою даного методу у порівнянні з методами Брінеля і Вікерса заключається в тому, що значення твердості по методу Роквела фіксується безпосередньо стрілкою індикатора, при цьому відпадає необхідність в оптичному вимірюванні розмірів відбитка.

Усі вище згадані методи мають спільний недолік: неможливо проводити контроль в польових умовах, а необхідно вирізати зразок ОК для проведення контролю в лабораторних умовах.

### 1.2.2 Неруйнівні методи контролю твердості

Широкого поширення зараз отримали динамічні твердоміри. Технічні характеристики деяких з них наведені в табл.1.1 [8].

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики твердомірів ТДМ-1, ТДМ-2

Найменування показника	ТДМ-1	ТДМ-2
Кількість шкал твердості	12	2
Коректування результатів вимірювань в залежності від просторового положення давача	є (0°,45°,90°,135°,180°)	є (0°,90°,180°)
Контроль стану акумулятора	є	є
Пам'ять результатів вимірювань	є (2000 вимірювань)	немає
Час безперервної роботи Від комплекту повністю заряджених акумуляторів	не менше 80 годин	не менше 25 годин
Діапазон робочих температур	від -10°C до +40°C	від -10°C до +50°C
Середній строк служби	5 років	5 років
Габаритні розміри	157×84×30 мм	86×126×35 мм
Маса	не більше 0,4 кг	не більше 0,4 кг

Принцип роботи цих приладів базується на вимірюванні швидкості пружного відскоку індентора від поверхні, що контролюється, що являється функцією твердості. Динамічний метод вимірювання твердості має два основних обмеження: по-перше, маса ОК повинна бути не меншою 3 кг; по-друге, товщина стінки виробу повинна бути не менше 10 мм. (При оцінці застосовуваності вимірювання твердості динамічним методом скоріше слід орієнтуватись не на масу і товщину стінки, а на жорсткість вимірюваної системи). Також чистота досліджуваної поверхні впливає на якість вимірювання: зазвичай слід підготувати поверхню ОК до значення параметру шорсткості не гірше  $R_z = 20\text{мм}$ . Тим не менше, динамічні твердоміри в багатьох випадках мають суттєві переваги перед “класичними”. По-перше, коли ОК великогабаритне і його не можна піднести до стаціонарного приладу, і неможливо вирізати фрагмент; по-друге, коли необхідна висока продуктивність контролю.

Ще одним неруйнівним методом контролю твердості є косвінний метод визначення твердості з допомогою магнітних структуроскопів-коерцитиметрів, які використовуються в якості інформативного параметра значення коерцитивної сили феромагнітного матеріалу ОК [11].

Коерцитивна сила становить одну з найбільш структурно-чутливих характеристик феромагнітних матеріалів. Тому її широко використовують для різноманітних задач неруйнівного контролю. Для застосування коерцитивного методу необхідно попередньо встановити зв'язок між коерцитивною силою і механічними характеристиками ОК. Найчастіше використовується залежність між твердістю вуглецевих і низьколегованих сталей та їх коерцитивної сили (рис.1.3).

При вимірюванні коерцитивної сили  $H_C$  досліджуваний зразок спочатку намагнічують практично до насичення в електромагніті або в намагнічуючій котушці. Далі через цю котушку з розміщеним в ній зразком пропускають струм, магнітне поле якого розмагнічує зразок. Величину струму збільшують до тих пір, поки намагніченість  $J$  зразка не зменшиться

до нуля, що реєструється різноманітними індикаторами ( нульовими приладами) . За величиною струму в котушці, що відповідає стану зразка з  $J=0$ , визначають напруженість розмагнічуючого поля , тобто  $H_c$ . Для цього попередньо встановлюється залежність напруженості  $H$  магнітного поля, що створюється котушкою, що протікає в обмотці цієї котушки [1].

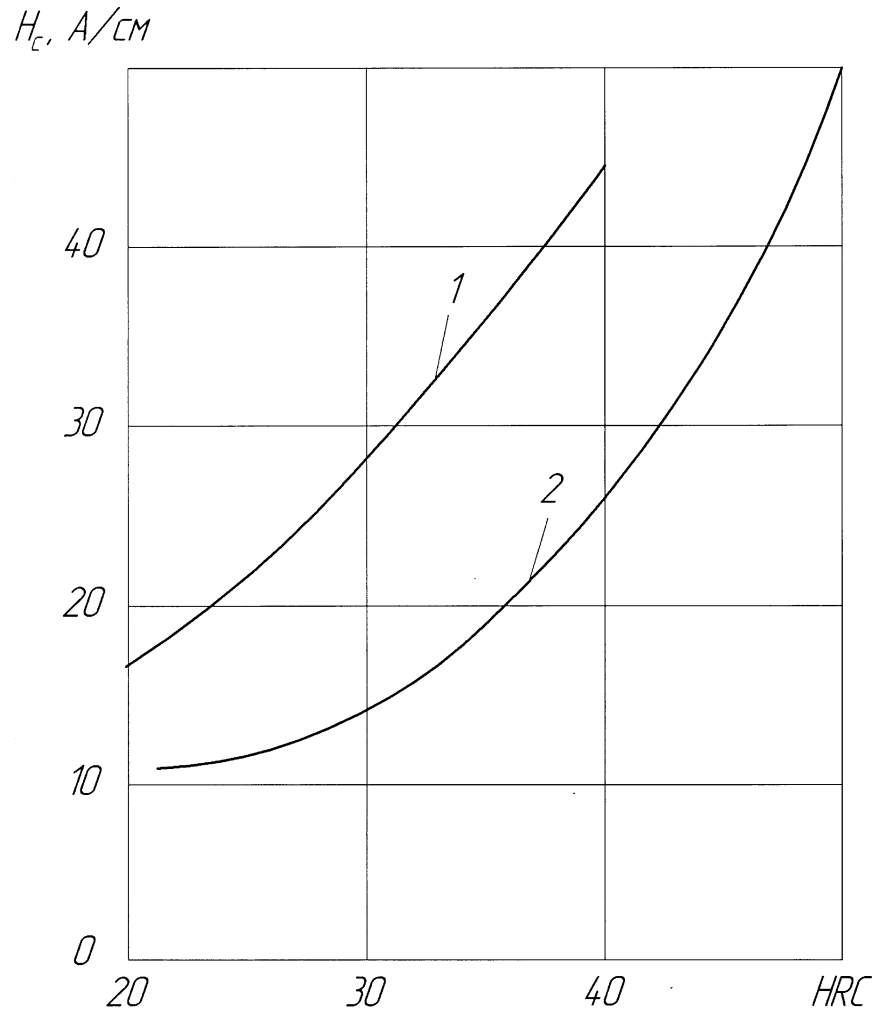


Рисунок 1.3 – Залежність коерцитивної сили сталей від твердості  
(1 – залежність для сталі 30X13, 2 – для сталі 12X17H2)

Даний метод має ряд переваг: по-перше, він є неруйнівним; по-друге, коерцитиметри надійно працюють на поверхнях, що не потребують попередньої зачистки; по-третє, він дає змогу проводити контроль на протяжних магістральних газопроводах [16].

Контроль по твердості характеризує стан тільки поверхневих шарів металу і не відрізняється високою чутливістю.

### **1.3 Методи контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій**

Сучасна діагностика стану металоконструкційних матеріалів, яка володіє великим арсеналом фізичних методів і засобів, уже не обмежується задачами дефектоскопії, але усе більш широко використовується при розв'язку задач визначення механічних характеристик матеріалів, причому основне місце тут займають методи і засоби вимірювання залишкових і робочих внутрішніх напружень. У зв'язку з цією обставиною на перший план виходять методи технічної діагностики, що поєднують механіку руйнувань, металознавства та неруйнівного контролю. До таких методів, в першу чергу, відносяться методи контролю напружено-деформованого стану [18].

Проблемою вимірювання механічних напружень в робочих конструкціях з метою оцінки їх стану в даний час займаються усі провідні діагностичні центри світу. Однак, досі ефективність різних методів і засобів контролю напружень залишається низькою при їх безпосередньому використанні на обладнанні.

Ультразвукові методи контролю (УЗК) дозволяють одержати інформації про дефекти, які розташовані на значній глибині в різних матеріалах, виробках і зварних з'єднаннях. Для акустичного методу НК застосовують коливання ультразвукового і звукового діапазону від 50 Гц до 50 МГц. УЗК зварних з'єднань проводять, як правило, луно методом (дефекти визначаються шляхом прийома і реєстрації відбитих від неоднорідностей луно-сигналів). При контролі зварних з'єднань виникають певні труднощі – помилкові відбиття від елементів конфігурації швів. В деяких випадках внаслідок великої кількості цих помилкових сигналів від конструкційного непровару контроль виявляється неефективним [4].

Пружні потійні нижчого порядку пов'язані з швидкостями поздовжніх і поперечних хвиль і не залежать від механічних навантажень,

прикладених до матеріалу. Вимірюючи швидкість УЗК будь-яким методом, можна визначити модуль пружності, модуль всестороннього стиску, коефіцієнт Пуасона  $\nu$ , відповідно, дослідити поведінку матеріалу в умовах напруженого стану. Точні вимірювання швидкості хвиль дають можливість визначити також пружні постійні високого порядку, залежності деформації і напружень. Такі вимірювання саме тому можуть корелювати з напруженнями розтягу або стиску, а також з внутрішніми напруженнями. Такі вимірювання можуть здійснювати на приладах УД2-12, УД2-70 та ін. [3].

Недоліком даного методу є досить висока трудоемкість, оскільки необхідні складні методики контролю і складні установки для проведення контролю.

В техніці дослідження конструкцій за останні десятиріччя широкого розповсюдження отримали дротяні перетворювачі опору. Дротяний перетворювач представляє собою наклеєну на смужку паперу тонкий зигзагоподібно вкладений дріт (рис. 1.4) товщиною 0,015-0,030 мм. До кінців дротів шляхом зварювання або паяння приєднуються провідники [5].

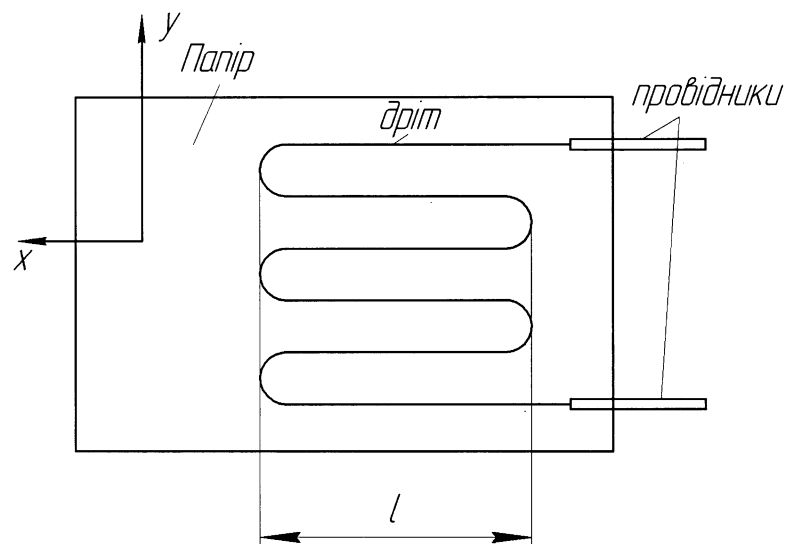


Рисунок 1.4 – Схема дротяного перетворювача опору

Перетворювач на поверхню досліджуваного об'єкту так, щоб розмір бази  $l$  співпадав з напрямком, в якому бажано заміряти інформацію. При

деформації ОК дрітик видовжується (вкорочується) і його омичний опір змінюється. Для запису деформацій застосовуються осцилографи. Основною похибкою перетворювачів опору являється температурна похибка. Даний метод не дає змогу діагностувати габаритні ОК (через те, що їх треба наклеювати).

Рентгенівський метод визначення напружень базується на вимірюванні відстані між атомами кристалічної ґратки металу. Ця відстань змінюється по двом причинам: внаслідок температурного і внаслідок силового впливу. В ненапруженому стані відстань між атомами відома. Співставляючи цю відстань з вимірюваною, знаходимо відносне видовження і, ввівши -температурну поправку, визначаємо напруження. Рентгенівським методом можна визначити залишкові напруження. Рентгенівським методом можна визначити залишкове напруження в зоні зварного з'єднання після його охолодження, що за допомогою давачів опору здійснити неможливо. При рентгенівському методі вимірювання напружень в металах використовується монохроматичне (характеристичне) рентгенівське випромінювання [3].

Даний метод є економічно не вигідним і фактичне застосування рентгенівських структуроскопів є неможливим для діагностики магістральних трубопроводів в польових умовах і дуже трудомістким в лабораторних умовах.

Для виявлення і оцінки зміни мікродефектності зварних з'єднань перспективним є застосування магнітних методів на основі коерцитивної сили. Основою такого аналізу магнітним методом являється наявність кореляційного зв'язку між магнітними параметрами, втомними змінами і напруженим станом [2,7].

Прикладами таких магнітних структуроскопів є пристрої СМАГ-1 та КРМ-Ц, основні технічні характеристики яких наведені в таблиці 1.2 [20].

Таблиця 1.2- Основні технічні характеристики коерцитиметрів СМАГ-1 та КРМ-Ц

Найменування показника	КРМ-Ц	СМАГ-1
Маса вимірювального блоку, кг	2.0	1.5
Маса перетворювача, кг	1.2	1
Довжина вимірювального блоку, мм	230	200
Ширина вимірювального блоку, мм	250	180
Висота вимірювального блоку, мм	60	50
Діапазон вимірювання коерцитивної сили, А/м	1.00-60.00	1.00-50.00
Час одного вимірювання,с	6	6
Час встановлення робочого режиму, хв	15	1
Середній строк служби структуроскопу,рік	8	10
Діапазон температур, °С	-20 до +50	+5 до +40

Як показали стендові руйнівні дослідження зразків, як показала практика, якщо взяти в якості інформативного параметру таку магнітну характеристику, як коерцитивна сила металу, то її приріст складе 200-300 % (для конструкційних сталей широкого застосування ), поки втомні явища

розвиваються від стану поставки (новий метал) до стану передруйнівного під дією прикладених навантажень [9].

#### **1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи**

Виконаний аналіз показав, що обов'язковою умовою функціонування трубопроводу є контроль твердості і НДС. Але відомі засоби контролю і діагностики не в повній мірі задовільняють поставлення до якості трубопроводу вимоги; мають недоліки і тому в даній бакалаврській роботі ми зупинимось на коерцитиметрі, оскільки, сучасний рівень техніки дає можливість реалізувати його більш якісно. Крім цього даний прилад є відносно недорогим для придбання і в експлуатації.

Систематичне коерцитивне дослідження зварного з'єднання в процесі експлуатації не вимагає особливих затрат часу і фінансів і дозволяє організувати базу даних по кожному з'єднанню, прослідкувати зародження, розвиток і накопичення втомних зон. Існує можливість застосування коерцитиметра в якості індикатора рівня напружень. Чутливість такої характеристики, як коерцитивна сила, до втомних змін в металі просто вражає. Усе це доповнюється простотою і дешевизною самого як процесу вимірювань, так і приладу для їх реалізації (магнітного структуроскопа – коерцитиметра), оскільки час одиничного виміру приставним давачем становить порядку 10 с, при цьому непотрібна особлива підготовка поверхні ОК, допускається її суттєва шорсткість і кривизна, немає залежності від температур навколишнього середовища.

Постановка задачі на бакалаврську роботу буде зволитися до :

- аналізу методів контролю якості металоконструкцій ;
- розробки пристрою для контролю металоконструкцій коерцитивним методом;
- метрологічного аналізу коерцитиметра;
- забезпечення охорони праці при експлуатації розробленого пристрою.

## 2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ КОЕРЦИТИВНИМ МЕТОДОМ

### 2.1 Теоретичні аспекти практичної реалізації коерцитивного методу контролю металоконструкцій

Коерцитивна сила становить одну з найбільш структурно-чутливих характеристик феромагнітних матеріалів. Тому її широко застосовують для різноманітних задач неруйнівного контролю. По значенню коерцитивної сили можуть бути визначені такі механічні характеристики об'єкта контролю як твердість, зносостійкість, ударна міцність, глибина загартованого або цементованого шару, а також якість термічної чи хіміко-термічної обробки виробів з чавунів, сталей та твердих сплавів. Останнім часом коерцитиметричні вимірювання почали застосовуватися для оцінки поточного втомного стану та залишкового ресурсу металоконструкцій [3].

Коерцитивна сила як фізична характеристика матеріалу широко застосовується також для поопераційного контролю в процесі виготовлення виробів з спечених твердих сплавів, при дослідженні їх фазового складу і структури після спікання, дослідження впливу різних технологічних операцій на фазовий склад та інші параметри структури. Значення коерцитивної сили твердого сплаву визначається станом феромагнітної складової – кобальтової фази, яка являє собою твердий розчин вольфраму та вуглецю в кобальті. В залежності від вмісту вуглецю у твердому сплаві кількість розчиненого в кобальті вольфраму буде більшою (при нестачі вуглецю) або меншою (при надлишку вуглецю) і тому намагніченість кобальтової фази буде різною.

Намагніченість змінюється також в залежності від товщини кобальтових прошарків, яка може мати різні значення в залежності від швидкості охолодження після спікання. В результаті, в залежності від хімічного складу суміші, технології її отримання і умов спікання значення коерцитивної сили різних партій виробів однієї і тієї ж марки сплаву

коливається в досить широких межах. Тобто коерцитивна сила може бути показником якості спікання твердого сплаву. Вченими з Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ) запропоновано по значенню коерцитивної сили здійснювати експрес оцінку механічних властивостей алмазовмістких композитів на металевій зав'язці, зокрема такого їх параметру як алмазоутримання, який визначає працездатність і ресурс кругів для різання каміння [5].

Наведені приклади свідчать про значну актуальність вимірювань коерцитивної сили феромагнітних матеріалів при вирішенні різних задач магнітної структуроскопії. Тому більш детально розглянемо, що таке коерцитивна сила, а також методи і засоби її вимірювання.

Магнітні властивості феромагнетиків характеризуються залежностями магнітної індукції  $B$  або намагніченості  $J$  від напруженості магнітного поля  $H$ . При циклічному перемагнічуванні крива намагнічування утворює петлю гістерезису, основними характеристиками якої є залишкова індукція  $B_r$  (залишкова намагніченість  $J_r$ ), коерцитивна сила  $H_c$  та площа петлі гістерезису, яка характеризує втрати на гістерезис  $d_h$  за один цикл перемагнічування (рис. 2.1) коерцитивна сила за намагніченістю  $H_{cj}$  або за індукцією  $H_{cb}$  – це величина, яка чисельно дорівнює напруженості магнітного поля необхідного для зміни намагніченості (індукції) попередньо намагніченого до технічного насичення об'єкта контролю від залишкової намагніченості (індукції) до нуля. Тобто, процес вимірювання коерцитивної сили зводиться до визначення напруженості розмагнічуючого поля [1].

Для більшості магнітних матеріалів, які застосовуються в техніці, різницею між  $H_{cj}$  та  $H_{cb}$  можна знехтувати, хоча для деяких магнітотвердих матеріалів, наприклад призначених для виготовлення постійних магнітів, ці значення істотно відрізняються. Існує також визначення коерцитивної сили за залишковою намагніченістю  $H_{c3}$ , яка відповідає напруженості розмагнічуючого, після зняття якого залишкова знехтується, хоча для деяких магнітотвердих матеріалів, наприклад призначених для виготовлення

постійних магнітів, ці значення істотно відрізняються. Існує також визначення коерцитивної сили за залишковою намагніченістю  $H_{c3}$ , яка відповідає напруженості розмагнічуючого, після зняття якого залишкова намагніченість попередньо намагніченого до насичення зразка стає рівною нулю. При визначенні характеристик магнітних матеріалів стосовно задач неруйнівного контролю користуються коерцитивною силою за індукцією  $H_{cb}$  і за намагніченістю  $H_{cj}$ . Коерцитивна сила за залишковою індукцією  $H_{c3}$  застосовується переважно в галузі магнітного звукозапису. Між вказаними видами коерцитивної сили існує наступне співвідношення:  $H_{cb} < H_{cj} < H_{c3}$ .

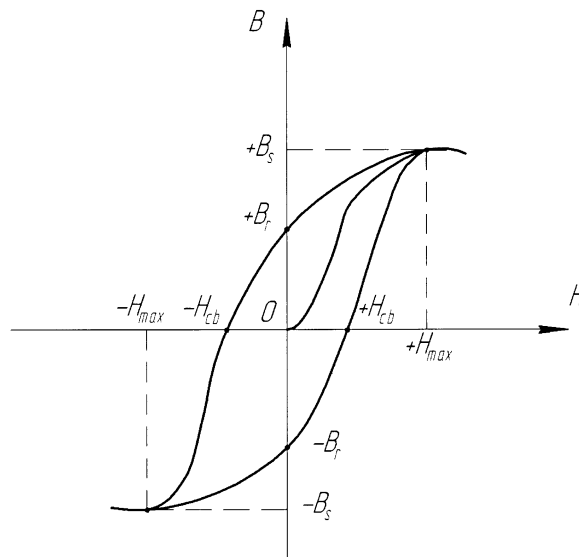


Рисунок 2.1 – Гранична петля гістерезису феромагнітних матеріалів

З точки зору техніки проведення вимірювань розрізняють вимірювання коерцитивної сили в замкненому, частково замкненому і відкритому магнітному колі. Так визначення коерцитивної сили за індукцією у відкритому магнітному колі повинно обов'язково проводитись за допомогою вимірювача індукції, що розташований біля поверхні контрольованого зразку (виробу) в його середній частині. Якщо коерцитивна сила визначається на постійній розмагнічуючій котушці і значенню струму в ній, то отриманий результат буде значно меншим в порівнянні із значенням коерцитивної сили,

визначеної в замкненому магнітному колі. Що стосується коерцитивної сили за намагніченістю, то її значення однакове як в замкненому, так і у відкритому магнітному колі і може бути визначене, як за допомогою вимірювачів, що встановлені біля поверхні об'єкту контролю, так і по постійній розмагнічуючій котушки [4].

Визначення значення коерцитивної сили по постійній розмагнічуючій котушки і струму в її обмотках дозволяє відносно просто автоматизувати процес вимірювань. У зв'язку з цим у сучасних коерцитиметрах перевага надається саме такому способу визначення коерцитивної сили. Вибір типу магнітного кола (замкнене чи відкрите), в якому здійснюється вимірювання коерцитивної сили, в значній мірі залежить від особливостей об'єкту контролю. Для об'єктів, форма яких дозволяє просто реалізувати контакт її поверхні з полюсами осердя електромагніту, широкого розповсюдження набули коерцитиметри з приставними П-подібними електромагнітами [5].

Такі прилади вимірюють або інтегральне значення коерцитивної сили контрольованого об'єкта в цілому або локальне значення, яке відноситься до тої його частини, через яку замикається магнітний потік електромагніта. Вони використовуються для вирішення різноманітних задач структуроскопії: сортування сталей та чавунів по маркам, контролю твердості, якості термічної або хіміко-термічної обробки, оцінки втомного стану та залишкового ресурсу металокопункцій і т.п. До коерцитиметрів даного типу відноситься широко відомий КИФМ-1 (КФ-1), а також розроблені на його основі прилади МФ-31КЦ і 1К. Відомими розробками коерцитиметрів з приставними П-подібними електромагнітами є ВКС-108 та КРМ-Ц [1].

Задача забезпечення промислової безпеки в умовах постійного фізичного і морального зношування металопродукції зумовлює підвищення ролі методів і засобів неруйнівного контролю [7].

Контроль втомного стану металокопункцій та їх вузлів на рівні масової експертизи обладнання в даний час реально не виконується. Головна причина – відсутність ефективних методів і приладів, доступних рядовому

експерту. Не володіючи такими даними, в ситуації, яка склалася сьогодні в системі технічної діагностики, оперують переважно інформацією і поняттями дефектоскопії і механіки руйнувань – визначенням появи дефектів, їх кількістю, швидкістю розвитку тріщин і т.д. Однак більшу частину строку служби правильно розроблена, виготовлена і експлуатована конструкція не має втомних дефектів, хоча зони можливих в майбутньому руйнувань в ній не рідко починають формуватись і розвиватись уже на стадії її виготовлення і монтажу [7].

Місцезнаходження таких зон логічно обумовлено самою конструкцією і тому добре відоме, однак зараз немає інструмента стеження за їх втомним станом до того часу, поки не з'являться дефекти. Таким чином, більшу частину строку служби обладнання з моменту запуску його в експлуатацію практична експертиза не слідкує за реальним станом металу, оскільки немає можливості контролювати накопичення втомних пошкоджень на мікрорівні. Природньо, що надійний діагностичний прогноз працездатності на будь-якій стадії строку служби при такій неповноті даних є неможливим. Підтвердженням служить безліч аварій різноманітного обладнання, що стаються часто відразу після чергової і цілком благополучної планової дефектоскопії.

Зварне з'єднання уже по своїй суті являється ускладненим місцем конструкції. Тому проблема контролю втомного стану основного металу в повній мірі зберігається і в діагностиці зварного з'єднання, тільки із збільшенням труднощів. В системі контролю з'єднання, що склалася сьогодні, спочатку приступають до пошуку дефектів власне зварювання, потім дефектів з'єднання, що виникли в процесі експлуатації. Між цими стадіями – біла пляма в експертизі. Не секрет, що ймовірність виявлення дефектів в основному металі, наприклад при ручному ультразвуковому контролі в умовах експлуатації знаходиться на рівні 0,5 [8].

Для зварних швів цей показник не є кращим, оскільки виявлюваність дефектів у з'єднанні ще гірша. При цьому дефектоскопісти наполягають,

щоб одне і те ж з'єднання завжди контролював один і той самий спеціаліст одним і тим самим приладом. Тільки тоді, на їх думку, буде забезпечена достовірність і відтворюваність. Неповнота інформаційної бази для технічної діагностики разом з такою ймовірнісною основою і суб'єктивізмом, не дозволяє отримувати достовірну оцінку поточного стану як зварних з'єднань, так і металоконструкцій в цілому.

Досвід технічної діагностики металоконструкцій багатьох типів в різних сферах техніки свідчить, що така магнітна характеристика, як коерцитивна сила, являється ефективним параметром контролю накопичення пошкоджень на мікрорівні (т.б. в ще бездефектному для дефектоскопії металі). Для металопродукції, що працює в режимі малоциклічної втоми, величина коерцитивної сили зростає в два-три рази, поки метал проходить шлях від нового в стані поставки до стану початку інтенсивного дефектоутворення. Причому зони, в яких утворюється таке накопичення втомних пошкоджень, великі, логічно визначені – тому легко виявляються.

В реальній широкій практиці оцінка стану металоконструкцій базується переважно на інформації про дефектність металу. При цьому дані про його структурний стан по ряду причин не враховується, хоча цілком очевидний цілий клас об'єктів, де матеріалознавчі аспекти стану металу являються переважаючими, не встигають виявлятися через їх лавиноподібний ріст і практично миттєве руйнування виробу.

Зміна властивостей в процесі деформовного старіння після довготривалої експлуатації визначається не стільки часом, скільки попередньою пластичною деформацією [6]. При цьому найбільші деформації носять локальний характер, що додатково ускладнює безпосередню оцінку. Виключаючи із розгляду екстремальні випадки, пов'язані з грубими порушеннями умов монтажу трубопроводів, зсув ґрунту і т.п., доцільно відмінити наступне.

1) В процесі виготовлення трубний переділ супроводжується холодним деформуванням металу, що особливо характерно для зварених труб. Іншими

словами, неможливо повністю виключити можливість виникнення підвищених місцевих пластичних деформацій, які можуть вплинути на подальшу експлуатацію трубопроводів в польових умовах.

2) Максимальне спотворення форми поперечного перерізу трубної заготовки спостерігаються на кінцевих ділянках ( так званий кінцевий ефект). Характерно, що значна кількість руйнувань при дослідженнях і експлуатації трубопроводів зароджується саме в цих місцях. Найменше контролюються значення можливих пластичних деформацій в монтажних умовах. Їх допустимий рівень обмежується правилами виконання робіт, таких як холодне згинання труб або виправлення місцевих спотворень форми.

3) В процесі експлуатації пластичні деформації , значення яких залежить від ряду факторів , можуть виникати в зоні механічних пошкоджень і корозійних дефектів, в місцях утворення гофрів і на інших ділянках деформування трубопроводу [16].

З врахуванням вище сказаного, для контролю напружено-деформовного стану матеріалу зварних конструкцій застосовується магнітний метод [12]. Дослідження були проведені на зразках з трубної сталі 09Г2С з використанням коерцитиметра з приставним магнітним пристроєм (ПМП) [1].

Принцип виконання дослідження полягає в наступному: локальну ділянку ОК попередньо намагнічують з допомогою ПМП однополярними імпульсами струму. Далі в котушку ПМП подається розмагнічуючий струм ( оберненої полярності) і вимірюється його значення  $I_0$  в момент , коли індукція в магнітному ланцюзі ПМП – виріб, що вимірюється перетворювачем Холла (ПХ) , дорівнює нулю. Покази на вимірювальному пристрої приладу не залежить від зміни зазору між виробом і ПМП в межах від 0 до 0,7 мм. При цьому похибка вимірювання величини  $H_c$  в діапазоні 1..20 А/см складає 5 % [5]. Попередньо для отримання значення величини  $H_c$  в абсолютних одиницях проводили градування приладу на

еталонних зразках з відомими значеннями цієї величини з метою підвищення достовірності вимірювань. Результати вимірювань реєструються і заносяться в банк даних ( блок пам'яті) приладу.

Одноосьове статичне навантаження зразків стандартних розмірів (700×60×28) з трубної сталі здійснювали на розривній машині у відповідності з вимоги нормативної документації [10] . Застосування накладного давача (ПМП) дозволило оперативно виміряти значення  $H_c$  в різних напрямках по відношенню до зварного з'єднання і напрямку прикладення навантаження . При цьому вимірювання коерцитивної сили  $H_c$  зразків було проведено (рис.2.2) в процесі їх поетапного навантаження в напрямках 0 і 90° по відношенню до прикладеного навантаження.

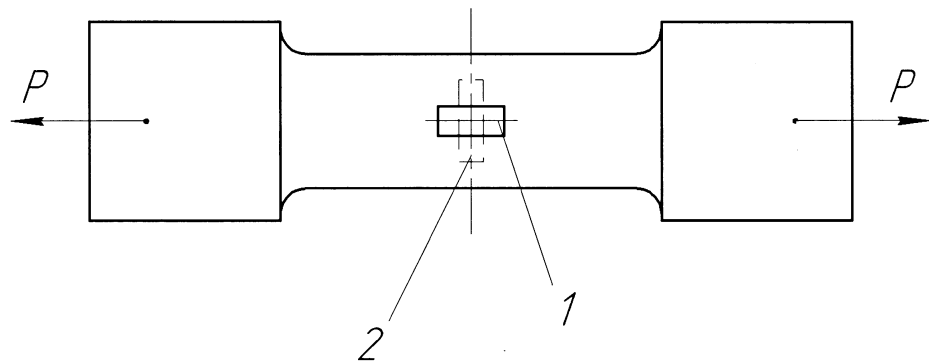
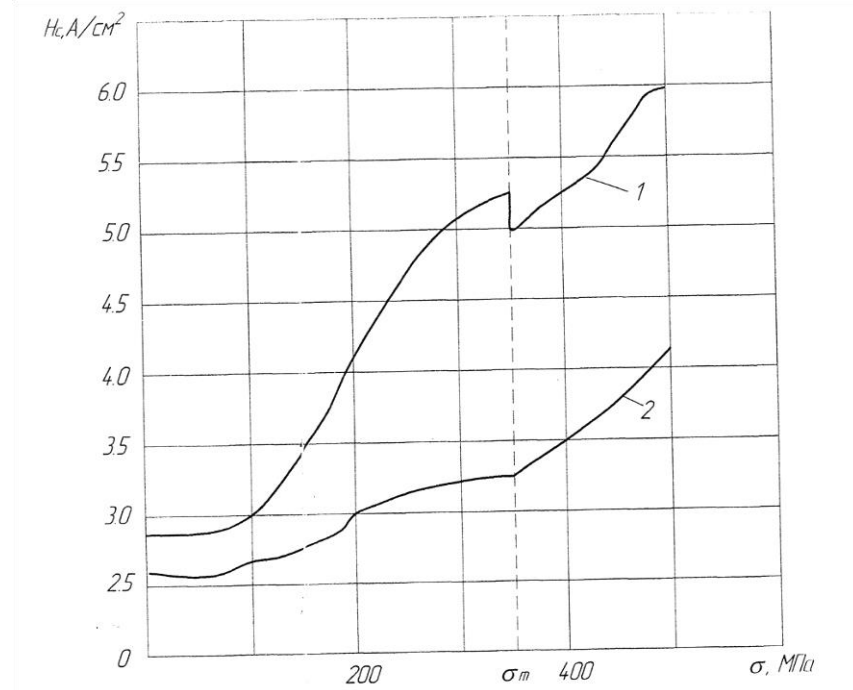


Рисунок 2.2 – Позиціонування (1 – повздовжнє; 2 – поперечне) давача коерцитиметра при досліджуванні зразків з трубної сталі 09Г2С

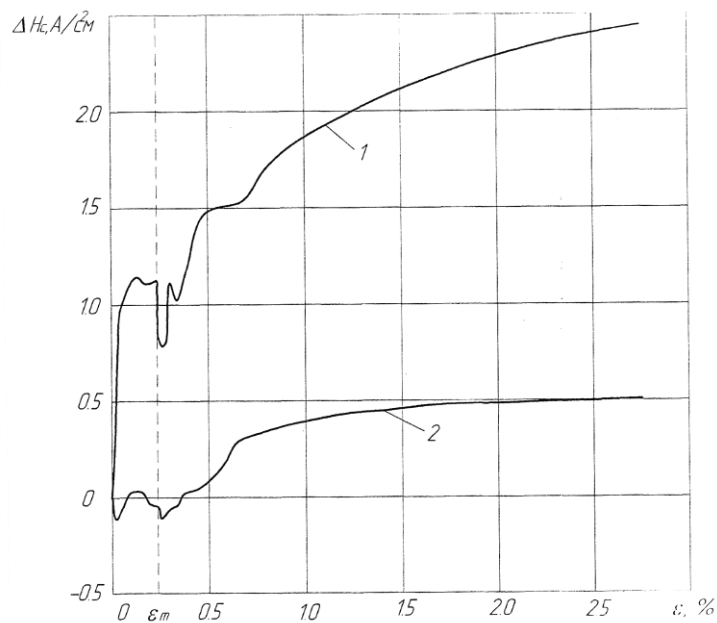
Одночасно записували діаграму навантаження і фіксували границю текучості матеріалу. Результати дослідження при одноосьовому розтязі зразків представлені на рис. 2.3. Криві залежності  $H_c = f(\sigma)$  побудовані по середнім значенням з декількох вимірювань значень коерцитивної сили. Результати досліджень при одноосьовому розтязі зварних зразків у відповідності з вибраною методикою представлені на рис. 2.4 і на рис. 2.5.



1- при поперечному розміщенні давача

2 – при повздовжньому розміщенні давача

Рисунок 2.3 – Залежність коерцитивної сили  $H_c$  від напруження  $\sigma$  при розтягу зразків з основного металу (сталь 09Г2С)



1 – при поперечному розміщенні давача

2 – при повздовжньому розміщенні давача

Рисунок 2.4 – Залежність величини зміни коерцитивної сили  $\Delta H_c$  від поперечної деформації  $\epsilon$  при розтягу зварних зразків з сталі 09Г2С

Аналіз отриманих результатів досліджень показав, що в області пружних деформацій найбільшою чутливістю володіє спосіб, при якому коерцитивна сила вимірювалась в напрямку  $90^\circ$  (рис.2.3, крива 1). Схема на намагнічення ОК приведена на рис. 2.7. В напрямку прикладення навантаження  $0^\circ$  для всіх зразків спостерігається мінімум функції  $H_c(\sigma)$  (рис.2.3, крива 2). При цьому було відмічено, що збільшення напруження  $\sigma$  в зоні тимчасового зміцнення металу приводить до зростання  $H_c$  в обох напрямках. Стрибок значень величини  $H_c$ , що спостерігається на кривих рис.2.3, рис. 2.4), відповідає стану текучості металу зразку, що представлений на діаграмі розтягу, тобто досягнення границі текучості  $\sigma_T$  в сталі конструкції.

Моделювання процесу накопичення пошкоджень і пластичної деформації матеріалу виробу при циклічних навантаженнях проводили на аналогічних зразках з сталі 09Г2С. Дослідження проводили в режимі багатоциклічної втоми при віднульовому циклі навантаження з частотою 5Гц і амплітудою навантаження 280 МПа. Характерна залежність коерцитивної сили  $H_c$  від кількості циклів  $N$  при втомному навантаженні представлена на рис. 2.6.

Таким чином була виявлена залежність коерцитивної сили при статичному і циклічному навантаженні від параметрів навантаження зразків зварних з'єднань з сталі, що застосовується для виробництва труб магістральних нафтогазопроводів. При цьому були визначені порогові значення  $H_c$  для зони зварного з'єднання (рис.2.4, рис.2.5), а також в області основного металу, при досягненні яких в металі починають накопичуватись безповоротні зміни (рис.2.3). Це дає підстави, необхідні для прогнозування експлуатаційного ресурсу зварних конструкцій з позицій аналізу структурного стану, а в комплексі з даними діагностики неруйнівного контролю суттєво покращує якість і достовірність оцінки стану і

залишкового ресурсу трубопроводів. Даний метод можна застосувати як додатковий для виявлення макродефектів.

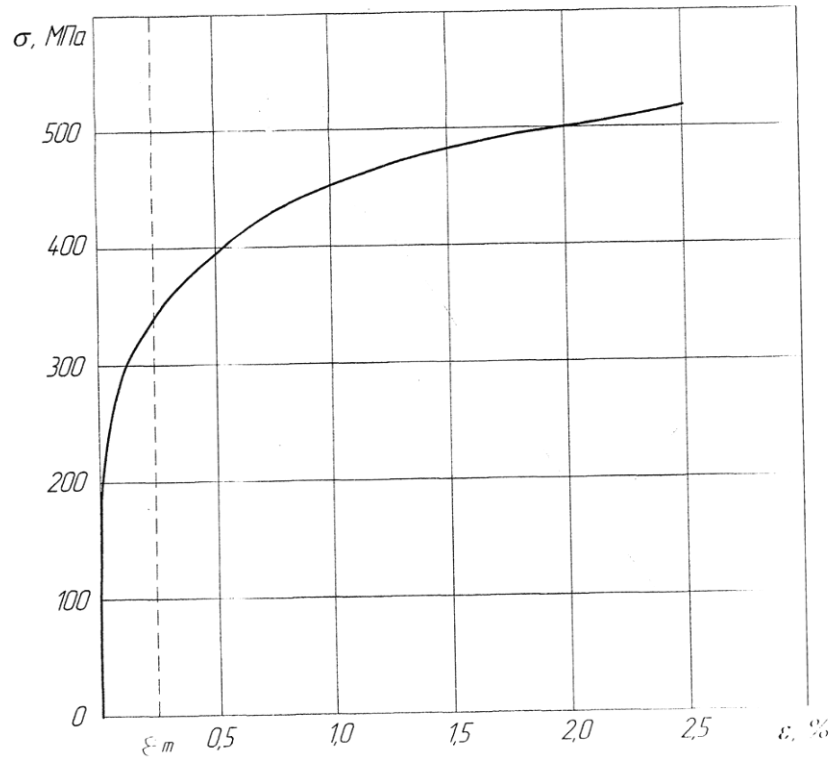
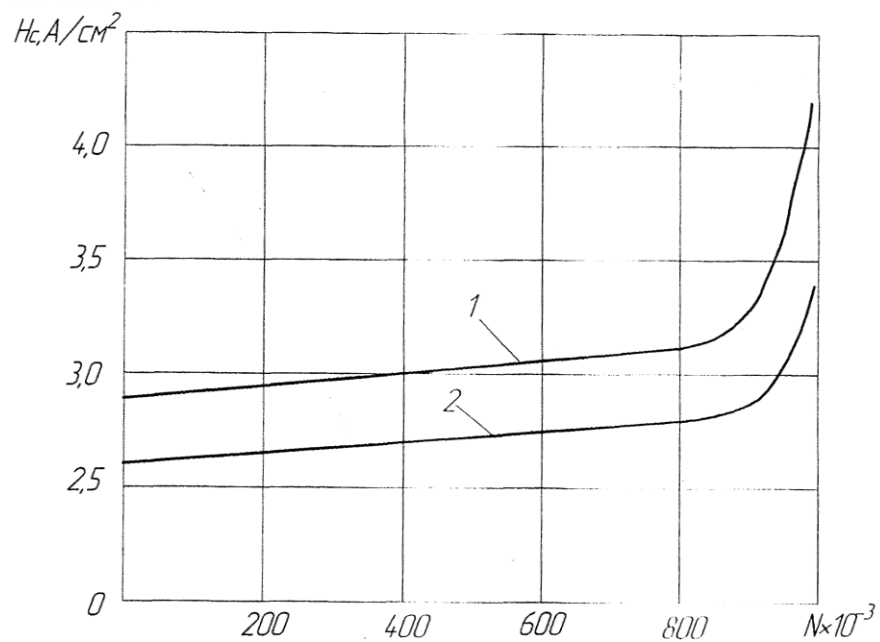


Рисунок 2.5 – Залежність прикладеного напруження  $\sigma$  від поперечної деформації  $\epsilon$  при розтягу зварних зразків з сталі 09Г2С



1- при поперечному розміщенні датчика  
2 – при повздовжньому розміщенні датчика

Рисунок 2.6 Залежність величини  $H_c$  від кількості циклів  $N$  для зразків з сталі 09Г2С при багатоциклічній втомі

Стендові руйнівні статичні і циклічні дослідження зразків сталей, проведені разом з паралельним коерцитиметричним контролем, підтвердили ефективність розробленої в [12] методики по оцінці залишкового ресурсу металоконструкцій.

## 2.2 Розробка структурної схеми коерцитиметра

Схеми структурні визначають основні функціональні частини, їхні призначення і взаємозв'язки і служать для загального ознайомлення з приладом. На структурній схемі розкривається не принцип роботи окремих функціональних частин виробу, а тільки взаємодія між ними. Тому складові частини виробу зображують спрощено у вигляді прямокутників довільної форми. Допускається застосувати умовні графічні позначення [13].

Графічна побудова схеми повинна давати найбільш наочне представлення про послідовність взаємодії функціональних частин у виробі. На лініях взаємодії рекомендується стрілками позначати напрямки ходу процесів, що відбуваються у виробі [13].

На схемі повинні бути зазначені найменування функціональних частин об'єкту, що як правило ,вписуються всередину прямокутника. Допускається для функціональної частини вказувати скорочене або умовне найменування , що у цьому випадку повинно бути пояснене на полі схеми. Функціональні групи на схемі виділені штрихпунктирною лінією. На основі структурної схеми розробляють інші типи схем – функціональну, принципovu [15].

Структурна схема приладу приведена на форматі БР.МТ-19.00.00.000 Е1.

При натисканні кнопки  $S1$  «Вимірювання» блок управління (БУ) обнулює вимірювач струму (ВС), відключає і блокує аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Після чого формує імпульс певної довжини, який

поступає на імпульсний ключ (ІК). Перед формуванням цього імпульсу БУ подає сигнал управління на комутатор 1 (КМТ1), який підключає котушку електромагніта (ЕМ) до ІК в режим намагнічення. Магнітна система імпульсом струму намагнічується до насичення. Після цього БУ подає сигнал на КМТ1, який котушку ЕМ комутує до ІК в режим перемагнічення. З БУ на ІК знову подається імпульс довжиною 50 мс – починається процес розмагнічування. БУ після початку процесу розмагнічування підключає ВС до кола електромагніта – починається процес вимірювання струму. На виході давача поля (ДП) лінійно спадає вихідна напруга, яка є функцією поля. Напруга з виходу ДП через підсилювач (П) подається на компаратор нуля (КМТ) . В П здійснюється коректування верхнього і нижнього значення коерцетивної сили при зстосуванні стандартних зразків. При досягненні магнітною індукцією нуля, на виході ДП буде нульова напруга. Спрацює КМП нуля, сигнал з виходу якого поступає на БУ. БУ відключає ВС від кола живлення ЕМ. Значення струму , яке відповідає нульовому значенню магнітної індукції, фіксується ВС. БУ підключає через комутатор 2 (КМТ2) напругу, яка пропорційна вимірюваному струму , до АЦП. Ця напруга нормується до коерцетивної сили в нормуючому підсилювачі (НП) . АЦП через блок індикації (БІ) видає значення вимірної коерцитивної сили. БУ після цього з затримкою 3 с подає сигнал на блок звукової сигналізації (БЗС), який дає інформацію про завершення циклу вимірювання – можна зчитувати значення вимрювання.

При повторному натисканні кнопки S1 « Вимірювання» цикл повторюється .

При натисканні кнопки S2 « Контроль » блокується запуск циклу вимірювання. З виходу АЦП через БІ зчитується значення напруги акумулятора. Блок акумуляторний (БА) через блок контролю напруги акумуляторів підключається (БКН) до АЦП.

### 2.3 Розрахунок первинного перетворювача коерцетиметра

Для реалізації даного контролю нам необхідно розрахувати первинний перетворювач, який являє собою електромагніт, до якого конструктивно приєднаний давач Хола. Перевагою застосування електромагніту є можливість досягнення великих напруженостей, а також можливість керування режимом контролю [4].

Здійсимо електричний, геометричний і тепловий розрахунок електромагніта (рис. 2.7).

Ширину магнітопроводу  $\alpha$  повинна бути більшою або рівною товщині ОК [5]. Оскільки товщина магістрального трубопроводу становить 12 мм [16], то приймемо ширину магнітопроводу рівною 15 мм. Відстань  $l$  і висоту  $h$  будемо визначати в залежності від кількості витків в котушці [5], яка також визначить індуктивність необхідну для створення магнітної індукції  $B_{max}$  для насичення магнітної системи магнітопровід – ОК.

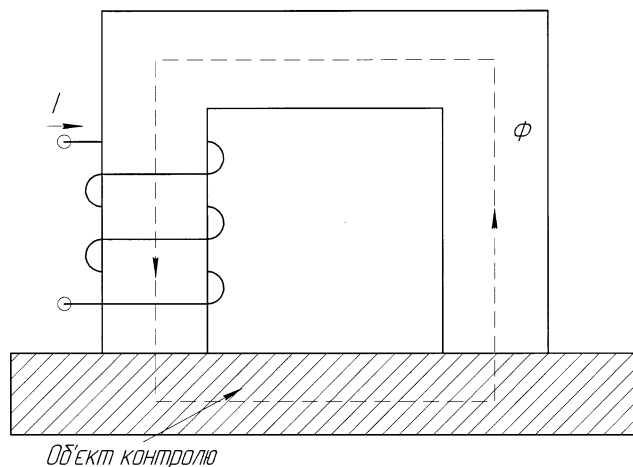


Рисунок 2.7 – Схема намагнічення ОК

Матеріалом осердя електромагніту вибираємо набір пресованих пластин з пермолою марки 50Н, який має наступні фізичні властивості [4]:

- магнітна проникність  $\mu=100 \div 160$ ;

- коерцетивна сила  $H_c = 9,24 \div 19,15$  А/м;
- індукція насичення  $B_s = 1,5$ Тл;
- питомий опір  $\rho = 0,45$  Ом·мм<sup>2</sup>/м.

Виходячи з того, що прилад повинен забезпечувати неперервну роботу без підзарядки не менше 8 годин і, оскільки основним струмом споживання приладу є струм для намагнічення котушки електромагніта, тому, виходячи з енергоємності акумуляторних батарей, задаємося струмом намагнічення  $I_{em} = 2$ А.

Визначимо кількість витків  $\omega$  котушки для досягнення струму 2 А. Для цього скористаємось формулою [15]:

$$I_{em} = \frac{B_s l_{cp}}{\mu_a \omega} \quad (2.1)$$

де  $B_s$  – індукція насичення електромагніту, Гн;  
 $l_{cp}$  – середня довжина витка котушки, яка рівна  
 $l_{cp} = \alpha \cdot 4 = 0,015 \cdot 4 = 0,06$  (м);  
 $I_{em}$  – струм намагнічення, А;  
 $\mu_a$  – абсолютна магнітна проникність, Гн/м;  
 $\omega$  – кількість витків котушки.

$$\mu_a = \mu \cdot \mu_0, \quad (2.2)$$

де  $\mu$  – магнітна проникність матеріалу осердя;  
 $\mu_0$  – магнітна стала,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , Гн/м.

Звідси, виразивши  $\omega$  та підставивши числові значення отримаємо:

$$\omega = \frac{B_s l_{cp}}{\mu_a I_{em}} = \frac{1,5 \cdot 0,06}{150 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2} = 225 \text{ (витків)}.$$

Враховуючи, що між осердям і об'єктом контролю завжди буде повітряний зазор, тому кількість витків збільшимо на 25%, тобто приймемо  $\omega = 280$ .

Тепер визначимо індуктивність котушки  $L$  за формулою:

$$L = \frac{\mu_a \omega^2 \cdot S}{l_{cp}}, \quad (2.3)$$

де  $S$  – площа перерізу осердя,  $S = a^2 = 1,5^2 = 2,25$ (м<sup>2</sup>).

Підставивши числові значення отримаємо в (2.3):

$$L = \frac{150 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot 280^2}{0,06} \cong 0,16(\Gamma H).$$

Визначаємо площу поперечного перерізу проводу обмотки електромагніту за формулою :

$$S = \frac{I_{em}}{j}, \quad (2.4)$$

де  $j$  - густина струму в проводі обмоток  $j$  вибираємо з довідника [16] :  $j=3,5$  А/мм<sup>2</sup>. Підставивши в (2.4) числові значення отримаємо :

$$S = \frac{2}{3,5} = 0,57 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Враховуючи , що через котушку струми будуть протікати не безперервно, а дискретно, тому площу поперечного січення проводу зменшимо в 3 рази. Тому приймаємо  $S=0,2$ мм<sup>2</sup>.

В якості проводу обмотки вибираємо для площі поперечного січення  $S=0,2$ мм<sup>2</sup> вибираємо діаметр дроту без ізоляції  $d=0,51$ мм, а з ізоляцією  $d=0,56$ мм [15].

Визначимо активний опір обмотки котушки  $R$  за формулою :

$$R = \frac{\omega \cdot \rho_m \cdot l_{cp}}{S}, \quad (2.5)$$

де  $\rho_m$  - питомий опір міді ( з довідника  $\rho_m = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ).

Обчислимо активний опір котушки, для цього підставимо числові значення в (2.5):

$$R = \frac{280 \cdot 0,0175 \cdot 0,06}{0,2} = 1,5 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо висоту магнітопроводу  $h_1$  (рис.2.3):

$$h_1 = \frac{d \cdot \omega}{2} = \frac{0,56 \cdot 280}{2} = 78,4 \text{ (мм)}.$$

Враховуючи, що обмотка не щільна і враховуючи розміри щічок каркасу приймаємо  $h_1=10$  см. Звідси  $h = h_1 + \alpha = 10 + 1,5 = 11,5 \approx 12$  (см).

Розрахуємо інші геометричні розміри даного електромагніту :

$$l_{\min} = 2 \cdot a + 2 \cdot d = 2 \cdot 15 + 2 \cdot 0,56 = 31,12 \text{ (мм)},$$

$$l_{\text{min}} = l - 2 \cdot a = 31,12 - 2 \cdot 15 = 1,12 \text{ (мм)}.$$

Враховуючи товщину каркасу котушки, приймаємо  $l_1 = 40$  мм. Звідси  $l = 70$  мм.

Здійснимо тепловий розрахунок. Тепловий розрахунок котушки здійснюється з метою перевірки його температурного режиму або з метою визначення максимально-допустимого значення робочого струму в обмотці.

Робоча температура обмотки котушки визначається за формулою [14]:

$$\theta = \frac{P}{\lambda \cdot S_{\text{ох}}} \leq [\theta] \quad (2.6)$$

де  $[\theta]$  – максимально – допустима температура обмотки котушки (40-50°C);

$P$  – розсіювана активна потужність електричного струму в обмотці, Вт:

$$P = I^2 \cdot R, \quad (2.7)$$

де,  $I$  – струм в обмотці, А;

$R$  – активний опір обмотки, Ом ;

$\lambda$  - коефіцієнт, який характеризує потужнісно- температурний режим роботи обмотки, Вт/(м<sup>2</sup>·°C),  $[\lambda = (8 \dots 12) \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}]$ ;

$S_{\text{ох}}$  – площа поверхні охолодження обмотки, м<sup>2</sup>:

$$S_{\text{ох}} = a \cdot h_1 \cdot 8 \quad (2.8)$$

Підставивши числові значення, одержимо :

$$S_{\text{ох}} = 15 \cdot 8 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,012 \text{ (м}^2\text{)}$$

Прирівнявши формули (2.6) і (2.7), одержимо формулу допустимого значення струму :

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot S_{\text{ох}} \cdot [\theta]}{R}} \quad (2.9)$$

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 0,012 \cdot 50}{1,5}} = 2,2 \text{ (А)}.$$

Отже, визначене значення струму намагнічення  $I_{\text{ем}} = 2$  А не перевищує максимально – допустиме значення струму  $I_{\text{доп}} = 2,2$  А.

Здійснимо перевірку температурного режиму згідно (2.6) :

$$\theta = \frac{2^2 \cdot 1,5}{12 \cdot 0,012} = 41 \text{ (°C)}$$

Отже,  $\theta = 41$  (°C), що задовільняє умову температурного режиму :  
 $\theta \leq [\theta]$ .

Тепер розрахуємо довжину імпульсу  $\tau$ , який подає блок управління для намагнічення системи за формулою :

$$\tau = \frac{L}{R_g} \quad (2.10)$$

де  $R_g$  – сума вихідних опорів ключа і вимірювача струму, що приблизно дорівнює 10 Ом [14]

$$\tau = \frac{0,16}{10} = 0,016(\text{с}).$$

Для вибору необхідного давача Хола, необхідно розрахувати індуктивність розсіяння, знайшовши яку ми визначимо індукцію розсіяння. Індуктивність розсіяння  $L_{роз}$  визначається не за точними, за наближеними напівемпіричними формулами [5], оскільки перші потребують точних значень цілого ряду коефіцієнтів, що залежать від форми котушки і матеріалів, що застосовуються для її виготовлення. Хороше наближення для величини індуктивності розсіяння котушки з одною обмоткою дає формула:

$$L_{роз} = 0,4 \cdot 10^6 \cdot \omega^2 \cdot h_1 = 0,4 \cdot 10^6 \cdot 280^2 \cdot 0,1 = 3 \cdot 10^{-3}(\text{Гн}). \quad (2.11)$$

Для того, щоб знайти індукцію розсіяння складемо наступну пропорцію і з неї визначимо  $B_{роз}$ :

$$L \rightarrow L_{роз}, B \rightarrow B_{роз} \quad (2.12)$$

Звідси

$$B_{роз} = \frac{L_{роз} B}{L} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5}{0,16} = 2,81 \cdot 10^{-2}(\text{Тл}).$$

В якості датчика Холла виберемо датчик типу SS496A, що має наступні характеристики [5]:

- діапазон робочих величин магнітного потоку:  $\pm 840$ , Гс ;
- полярність давача: біполярний ;
- напруга живлення :  $U = 4,5 \div 12$  В;

- максимальна вихідна напруга:  $U_{cp} = U - 0,4$  ;
- чутливість: 2,5мВ/Гс ;
- струм споживання: 7Ма ;
- діапазон робочих температур: -40 ... + 125°C .

Перевагами даного давача Хола є висока точність, компактність, завадостійкість та ін.

## 2.4 Розробка алгоритму роботи АЦП

Для вибору АЦП користуємось наступними вимогами:

- живлення АЦП повинно бути однополярним і не більшим 12 В;
- максимальне значення АЦП повинно бути кратне двом;
- похибка перетворення напруги повинна бути не більшою 0,5%

Такі вимоги забезпечує АЦП , яке виконано на базі мікросхеми КР572ПВ5 [19] з використанням рідкокристалічного індикатора (РКІ) і може працювати від однополярного джерела струму напругою 9 В.

Його основні характеристики :

- вибір границі вимірювання : автоматичний;
- час вимірювання : не більше 2,5 с;
- точність вимірювання :  $\pm 0,2\% + 1$  молодшого розряду.

АЦП КР572ПВ5 перетворює вхідну постійну напругу ( $U_{вх max} = \pm 199,9$  мВ) в паралельний семисегментний код, яки управляє 3,5- розрядним РКІ. Схема електрична принципова АЦП приведена на форматі (БР.МТ-19.02.00.000 Е3). Вона складається з аналогових ключів DD1 та DD2 , зразкових резисторів R2-R4. АЦП DD3 з джерелом зразкової напруги VT1 РКІ HG1 і пристрою автоматичного вибору границі вимірювання на мікросхемах DD4, DD8.

Принцип роботи пристрою автоматичного виробу границі вимірювань базується на оцінці стану розрядів сотень і тисяч 3,5- розрядного вихідного паралельного коду КР573ПВ5 ( сегменти a, b, g f, - сотень і b, c – тисяч ).

Якщо вхідна напруга  $U_{ex}$  АЦП по абсолютній величині більша, ніж 199,9 мВ, то настає режим перенавантаження і на індикаторі буде одиниця в розряді тисяч, а в розряді сотень (і в інших розрядах) індикація відсутня. Такий сигнал на виході КР573ПВ5 викликає перемикавання АЦП на вищий діапазон вимірювання. З іншого боку, якщо  $U_{ex}$  менше 20 мВ, то на індикаторі 0 або 1 в розряді сотень, при цьому в розряді тисяч індикації немає. Такі комбінації вихідного коду дають дозвіл на перехід на більш чутливий діапазон.

Сигнал перенавантаження і недонавантаження видає декодер на елементах DD4, DD8, DD5.1. Сигнали з декодера керують роботою лічильника DD7.1 і лічильника – дешифратора DD8. Послідовно включені лічильники DD7.1 і DD7.2 і (у останнього використовується тільки останній розряд) здійснюється ділення частоти 62,5 Гц на 32. Отримана частота (біля 2 Гц) поступає на лічильний вхід DD8 і являється тактовою при перемиканні діапазону вимірювання. При перенавантаженні АЦП вихід DD6.4 має рівень 1, який скидає лічильник DD8 на 0, при цьому рівень одиниці на виході молодшого розряду цього лічильника відповідає включенню більшого діапазону. Одночасно рівень нуля на виході DD6.3 забороняє рахунок DD7. При ‘недонавантаженні’ АЦП на виході DD7.1 буде 1, яка дозволить лічбу, при цьому в роботу включається і лічильник DD8. На його виході при кожному лічильному такті в розряді, відповідаючому номеру такту буде високий логічний рівень. Число розрядів, що застосовується, DD8 рівне числу діапазонів вимірювань. В нашому випадку це число рівне трьом. Якщо оптимальний діапазон вимірювань досягнутий, то нуль на виході DD6.3 зупиняє лічильник DD7.1, а разом з ним DD7.2 і DD8. При досягненні мінімального діапазону DD7.1 блокується через вхід R, навіть якщо АЦП все ще знаходиться в стані ‘недонавантаження’.

Перемикавання діапазонів вимірювання здійснюють аналогові ключі DD1, DD2. Ними керує мікросхема DD8.

Ключі мають досить великий опір в провідному стані (кілька сотень Ом), але включені таким чином, що практично не вносять похибку ні на одному із діапазонів виміру.

Діоди VD1-VD4 обмежують напругу нижнього плеча подільника. Джерело зразкової напруги виконане на транзисторі VT1, який працює в термостабільній точці.

Зразкова напруга 100 мВ з витоку VT1 подається на 36 вивід DD3.

## 2.5 Проектування друкованої плати АЦП

Процес конструювання друкованої плати складається з ряду взаємопов'язаних операцій: вибору типорозміру, способу її кріплення, кількості шарів [13].

При розміщенні елементів на друкованій платі частіше виходять з критерію двох мінімумів : мінімуму перетинів і мінімуму довжини зв'язків ; перша умова означає і мінімум перехідних отворів, що забезпечує технологічність по мінімуму кількості шарів ; друга умова означає максимум зв'язків між сусідніми елементами [14].

Розміщення елементів на платі регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної. Ця віддаль – крок координатної сітки – вибирається рівним 1,25 або 2,5 мм [17].

Креслення друкованої плати повинно нести повну інформацію щодо її виготовлення , а саме : зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу, розміри плати, всіх її елементів, а також розміри відстаней між ними та відомості про матеріал, з якого виготовлена плата.

Розміри кожної сторони друкованої плати повинні бути кратними 2,5мм., при довжині до 100 мм., 5 при довжині до 350 мм., 10 при довжині понад 350 мм. Максимально допустимий розмір будь-якої із сторін плати не повинен перевищувати 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів

друкованої плати вибирається з ряду 1:1,1:2,2:3,2:5, але не більше за 13 товщини плат у відповідності до вимог друкованого монтажу можна вибрати з ряду :0,8, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 мм[13].

Суть друкованого монтажу полягає у нанесенні на ізоляційну основу тонких струмопровідних покриттів, які виконують функції монтажних провідників і служать для електричного з'єднання елементів схеми – резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів, мікросхем, дроселів.

Друкований монтаж дає змогу роз'язати завдання механізації виробництва, але за умови конструктивної зміни апаратури. При друкованому монтажі новим конструктивним елементом є друкована плата. Друкована плата – це певних розмірів ізоляційна основа з нанесеним на неї друкованим монтажем і отворами для встановлення радіоелементів.

Для виготовлення друкованих плат застосовують електротехнічний і фольгований гетинакс, текстоліт і склотекстоліт. Щоб виготовити друковану плату на ізоляційну основу наносять струмопровідні покриття відповідно до креслення друкованого монтажу. Існує багато методів виготовлення друкованих плат. У промисловості найпоширенішими є фото-, офсетно- і сітковоелектричний методи, а також фото- і офсетоперенесення.

Друковані провідники розміщують рівномірно по робочій поверхні плати на максимально можливій віддалі від сусідніх елементів плати з врахуванням наступних вимог : паралельно лініям координатної сітки або під кутом, кратним  $15^\circ$ , паралельно напрямку руху хвилі припою або під кутом до нього не більше  $30^\circ$  зі сторони пайки, перпендикулярно дотичній до контура круглої контактної площадки [19].

Центри монтажних отворів і контактних площадок під виводи навісних елементів розташовують у вузлах координатної сітки. Якщо крок розміщення виводів багатовивідного елемента не співпадає з кроком координатної сітки, то у вузол поміщують один із отворів, який приймають за основний, а інші розміщують у відповідності з конструкцією елемента (по можливості на лініях координатної сітки) [13].

Друковані провідники виконують максимально можливої ширини по всій довжині. У вузьких місцях можливе звуження провідників до мінімального; таке звуження повинно відбуватись по можливо меншій довжині. При прокладенні довгих провідників шириною 0,25 мм. і менше передбачають місцеве розширення провідників у вигляді контактної площадки будь-якої форми площею не менше 1 мм<sup>2</sup>. Віддаль між розширеннями або між розширенням і металізованим отвором (контактною площадкою) повинна бути не менше 100 мм.

При конструюванні друкованої плати допускається використання навісних перемичок у випадку неможливості реалізації схеми друкованими провідниками, але кількість цих перемичок по можливості не повинно перевищувати 5% числа зв'язків.

Допускається також застосування об'ємних екранованих провідників, коли їх кількість вказана в технічному завданні на розробку.

На кресленні друкованих плат розміри повинні вказуватись одним із наступних способів :

- нанесенням координатної сітки в прямокутній системі координат;
- нанесенням координатної сітки в полярній системі координат;
- комбінованим способом за допомогою розмірних ліній і координатної сітки в прямокутній або полярній системі координат [13].

При заданні розмірів нанесенням координатних сіток лінії сітки повинні номеруватись. Крок нумерації визначається конструктивно із врахуванням насичення і масштабу зображення.

За нуль в прямокутній системі координат необхідно приймати :

- центр крайнього лівого нижнього отвору , що знаходиться на полі плати, в тому числі і технологічного;
- лівий нижній кут друкованої плати;
- ліву нижню точку, утворену лініями побудови [20].

Провідники шириною меншою 2,5 мм. зображають однією лінією, яка повинна бути віссю симетрії провідника , більше 2,5 мм. – між двома

лініями і штрихують під кутом  $45^\circ$  або суцільно зарисовуюють. З метою спрощення креслення допускається виконувати провідники будь-якої ширини однією лінією, при цьому в технічних вимогах на кресленні вказують ширину провідника [14].

## **2.6. Конструювання первинного перетворювача коерцетиметра**

Розроблюваний коерцетиметр складається з вимірювального блоку і первинного перетворювача, які між собою з'єднуються кабелем. Всі елементи управління і настройки приладу знаходяться на передній панелі вимірювального блоку [14].

Складальне креслення первинний перетворювач коерцетиметра зображений на аркуші БР.МТ-19.01.00.000 СК.

Котушка 6 електромагніту 1 намотана на каркаси 3, що в свою чергу одягаються на осердя 9 електромагніту. У верхній щічці одного з каркасів виконаний паз, в якому розміщується давач Хола 2 так, щоб він щільно дотикався до осердя 9 і магнітний потік перетинав його перпендикулярно. З виводи даного давача захищені від наводок екрановим провідником 14. Для закріплення даного давача застосовується кришка закріплювача 7, в якій також є паз під давач Хола такий, щоб давач чітко закріпився. Дана кришка кріпиться до щічки каркасу шурупами 12.

До нижніх щічок каркасів кріпиться кришка корпусу 8 з допомогою шурупів 11. У верхніх щічках каркасів розміщені три металеві пелюстки, до яких припаюються дроти 13 (ПЭВ-1 0,56мм) від котушки, яка для захисту повинна бути покрита лаком марки УР231. Від цих пелюсток дроти йдуть до гумової трубки 15, до якої також підводиться екрановий провід від давача Хола. Через цю трубку первинний перетворювач під'єднується до вимірювального блоку.

До кришки корпусу шурупами 11 приєднується корпус 5 . В корпусі є отвір, через який просовується трубка 15 . Для фіксації даної трубки у отворі первинного перетворювача застосовується гумове кільце 4.

На даному складальному кресленні первинний перетворювач зображений на об'єкті контролю. Габаритні розміри первинного перетворювача становлять  $155 \times 125 \times 60$  мм.

Даний перетворювач зображено в трьох виглядах для кращого розуміння його конструкції.

## **2.7 Розробка алгоритму функціонування коерцетиметра**

Підготовка приладу до роботи :

- підключити перетворювач до вимірювального блоку;
- встановити перемикачі 'Заряд' і 'Настройка' в положення 'РОБОТА' ;
- включити живлення , дати приладу прогрітись протягом 15хвилин;
- натиснути кнопку 'Контроль' і перевірити напругу живлення .

При цьому на табло висвічується значення напруги акумуляторної батареї, для повністю зарядженої батареї ця величина складає приблизно + 12,5 В. При падінні напруги нижче порогової величини порядку + 11,5 В необхідно провести підзарядку акумулятора.

За допомогою стандартних зразків початку і кінця діапазону здійснюється калібрування приладу.

При натисканні кнопки 'Вимірювання' починається процес вимірювання. Цикл вимірювання складає 6 с .Після кожного вимірювання необхідно перевіряти значення напруги акумулятора, як це було вище зазначено. Якщо значення напруги є нижчим від порогового, то попередньо виміряне значення коерцетивної сили слід вважати не дійсним.

## 3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КОЕРЦЕТИМЕТРА

### 3.1 Аналіз складових похибки коерцетиметра

Похибка коерцетиметра складається з наступних складових : додаткової похибки, що виникає при зміні умов експлуатації ( температура, тиск, вологість , напруженість зовнішнього магнітного поля) та при зміні напруги живлення приладу ; інструментальної похибки , що складається з похибки первинного перетворювача, похибки вимірювача струму і похибки стандартних зразків та випадкової похибки , і похибки градуювання , що визначається точністю , з якою виставляється значення верхньої і нижньої межі діапазону вимірювання коерцетиметра [1].

Методична похибка визначається тим, що значення твердості і напружено-деформованого стану ми отримуємо з відповідних номограм. Випадкова похибка не є передбаченою ні по знаку, ні по розміру[22].

Похибка вимірювання струму складається з інструментальних похибок : перетворення струму в напругу; коефіцієнта передачі нормуючого підсилювача та похибки АЦП.

Похибка первинного перетворювача визначається : нелінійність струму розмагнічення магнітної системи електромагніт – ОК; зазором між ОК і первинним перетворювачем коерцетиметра ; неточністю спрацювання давача Хола, що визначається чутливістю давача, при досягненні магнітною індукцією нульового значення ; неточністю коефіцієнта передачі вхідного підсилювача; неточністю компаратора нуля [17].

Похибка стандартного зразка визначається: властивостями матеріалу, з якого виконаний зразок ; точністю вимірювання коерцетивної сили зразка.

Для зменшення похибки первинного перетворювача, з метою зменшення нелінійності струму магнітної системи ( на яку в основному впливає міжвиткова ємність котушки ) покриваємо котушку лаком УР231.

Для зменшення похибок у всіх електричних перетворювачах застосовуються прецизійні резистори з відхиленням від номіналу  $\pm 0,5\%$ .

Для зменшення похибки АЦП при комутації діапазонів вимірювання АЦП застосована схема комутації з компенсацією комутаційного опору комутаторів діапазону. В АЦП застосовуються прецизійні резистори з точністю  $\pm 0,5\%$  [15].

Для зменшення похибки квантування АЦП застосовуємо для відліку результату три розряди АЦП [22].

Схема накопичення вище описаних похибок приведена на плакаті БР.МТ-19.00.00.001.

### 3.2 Визначення основної похибки приладу

Основну похибку приладу визначаємо через середньоквадратичне відхилення за формулою [17]:

$$\delta_{СКВ} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2} \quad (3.1)$$

де,  $\delta_{СКВ}$  - сумарна похибка приладу;

$n$  – кількість складових похибки;

$\delta_i$  -  $i$ -та складова похибки.

Згідно (3.1) і схеми накопичення похибок, приведеної на БР.МТ-19.00.00.001 основна похибка приладу визначатиметься за формулою [22]:

$$\delta_{осн} = \delta_{инс} + \delta_{дод} + \delta_{мет} \quad (3.2)$$

де,  $\delta_{дод}$  - додаткова похибка приладу. Задамося значенням даної похибки, нехай вона дорівнює  $\pm 1,5\%$ ;

$\delta_{инс}$  – інструментальна похибка приладу,

$\delta_{мет}$  - методична похибка приладу. Приймаємо значення похибки рівне  $\pm 2\%$ .

$$\delta_{инс} = \sqrt{\delta_{сз}^2 + \delta_{пп}^2 + \delta_{вс}^2 + \delta_{град}^2} \quad (3.3)$$

де  $\delta_{пп}$  – похибка первинного перетворювача;

$\delta_{сз}$  – похибка стандартних зразків;

$\delta_{вс}$  – похибка вимірювача струму;

$\delta_{град}$  – похибка градуювання. Приймаємо значення цієї похибки рівне  $\pm 1\%$ .

Похибка первинного перетворювача  $\delta_{пп}$  визначається за формулою (3.1):

$$\delta_{пп} = \sqrt{\delta_{IL}^2 + \delta_{ДХ}^2 + \delta_{ПВХ}^2 + \delta_{КО}^2}$$

(3.4) де  $\delta_{IL}$  – відносна похибка струму розмагнічення;

$\delta_{ДХ}$  – відносна похибка давача Хола;

$\delta_{ПВХ}$  – відносна похибка вхідного підсилювача;

$\delta_{КО}$  – відносна похибка компаратора нуля .

При дослідженні котушки електромагніту було визначено, що відносна нелінійність струму в діапазоні ,який відповідає коерцитивній силі  $1 \div 20$  А/см рівна  $\pm 2,5$ [15].

Відносна похибка давача Хола при визначенні магнітної індукціїї рівній нулю, при чутливості  $2,5 \cdot 10^{-4}$  Тл дорівнює  $\pm 1,5 \%$  [5].

Відносна похибка вхідного підсилювача обчислюється за формулою:

$$\delta_{R_{вх}} = \sqrt{\delta_{R_{вх}}^2 + \delta_{R_{зв}}^2 + \delta_{калібр}^2} \quad (3.5)$$

де  $\delta_{R_{вх}}$  ,  $\delta_{зв}$  – відносні похибки вхідного опору зворотнього зв'язку підсилювача відповідно, як рівні  $\pm 0,5\%$  [19];

$\delta_{калібр}$  – похибка калібрування підсилювача, яка рівна  $\pm 0,25\%$  [19];

Підставивши в (3,5) числові значення , отримаємо :

$$\delta_{ПВХ} = \sqrt{0,5^2 + 0,5^2 + 0,25^2} = 0,75\%.$$

Похибка компаратора визначається точністю напруги установки нуля, яка рівна  $\pm 0,2\%$ .

Підставивши в (3.4) числові значення, визначаємо сумарну похибку первинного перетворювача:

$$\delta_{III} = \sqrt{2,5^2 + 1,5^2 + 0,75^2 + 0,25^2} = \pm 3\%.$$

Похибка стандартного зразка  $\delta_{C3}$  згідно ДСТУ дорівнює  $\pm 1,5\%$ .

Похибка вимірювача струму  $\delta_{BC}$  визначається аналогічно як і похибка первинного перетворювача і рівна  $\pm 1,2\%$ .

Визначаємо інструментальну похибку, підставивши числові значення в (3.3):

$$\delta_{IHC} = \sqrt{1,5^2 + 3^2 + 1,2^2 + 1^2} = \pm 3,5\%.$$

За формулою (3.1), підставивши числові значення складових похибок, визначаємо основну похибку коерцитиметра:

$$\delta_{HC} = 3,5 + 2 + 2 = \pm 7,5\%.$$

Згідно розрахунку основна похибка приладу рівна  $\pm 7,5\%$  приймаємо значення основної похибки коерцитиметра рівною  $8\%$ .

### 3.3 Основи метрологічної атестації та повірки приладу

Завданням метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки є [21]:

- визначення та встановлення відповідності метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки вимогам технічного завдання та іншим нормативним документам, що розповсюджуються на відповідні засоби вимірювальної техніки;

- перевірка правильності вибору методів і засобів повірки засобів вимірювальної техніки, наведених в експлуатаційній документації;

- практичне випробування методики повірки;

- встановлення придатності засобу вимірювальної техніки до застосування.

Метрологічну атестацію проводять [21] державна чи відомчі метрологічні служби.

Рішення про придатність до експлуатації засобу вимірювальної техніки, призначених для застосування у сфері поширення державного метрологічного нагляду, приймається на підставі результату метрологічної

атестації керівником організації, що проводила атестацію [23].

Засоби вимірювальної техніки, які пройшли метрологічну атестацію і допущені до застосування, підлягають під час експлуатації та після ремонту повірці згідно з методикою, зазначеною у свідоцтві про метрологічну атестацію [21].

В результаті проведення атестації визначаємо похибку вимірювання коерцитивної сили в середині діапазону вимірювання, що дорівнює 10 А/см, при температурі навколишнього середовища  $+25\pm 10^{\circ}\text{C}$ , при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$ , при температурі  $+50^{\circ}\text{C}$  і при вологості 95%.

3.3.1 Для проведення атестації використовуємо наступне обладнання:

- камера тепла і холоду марки GRÖNLAND;
- камера тепла і вологи марки 12КТВ0.4-011;
- стандартні зразки;
- немагнітна прокладка розміром  $0,3\pm 0,05\text{мм}$ ;
- осцилограф С1 -114;
- резистор  $R=0,30\text{м}\pm 0,5\%$ , потужністю більше 2 Вт.

В якості стандартних зразків застосовуємо бруски розміром  $80\times 20\times 20$  мм з прецизійного магнітномягкого сплаву.

Коерцитивну силу стандартних зразків визначаємо за методикою, яка викладена в ГОСТ 8.377-80, які попередньо намагнічені відповідно до 1 А/см, 5А/см, 10 А/см, 15 А/см та 20 А/с [23].

3.3.2 Визначаємо похибку вимірювання коерцитивної сили в середині діапазону вимірювання рівне 5,10 та 15 А/см, а також визначаємо максимальне значення амплітуди струму, який протікає через котушку первинного перетворювача при нормальних кліматичних умовах :

- температура навколишнього середовища  $-293\pm 5^{\circ}\text{K}$ ;
- відносна вологість  $- 100\pm 4\text{кПа}$ .

Магнітне поле в приміщенні на повинно перевищувати фонове магнітного поля Землі.

Прилад перед перевіркою витримується у включеному стані не менше 15 хвилин. Коерцитиметр повинен бути витриманим на протязі години при нормальних умовах.

3.3.3 Визначаємо максимальне значення амплітуди струму намагнічення.

Вимірюємо осцилографом амплітуду напруги на резисторі  $R$ , який ввімкнений в розрив ланцюга кабеля, що з'єднує перетворювач з вимірювальним блоком. Максимальне значення струму визначається за законом Ома, тобто  $I_{\max} = U/R$ . Значення струму не повинно бути меншим  $2A$ .

3.3.4 Визначаємо похибку вимірювання коерцитивної сили, при цьому:

- калібруємо прилад за допомогою стандартних зразків, що відповідають початку і кінцю діапазону;
- проводимо вимірювання коерцитивної сили в трьох точках діапазону (5,10,15 А/см) не менше 5 разів в кожній точці;
- обробляємо результати вимірювання згідно формули [10]:

$$H_x = \frac{\sum_{i=1}^5 H_{xy}}{5},$$

де  $H_x$  – середнє значення коерцитивної сили у вимірювальній точці, А/см;

$H_{xi}$  – виміряне значення коерцитивної сили,  $i=1,2,3,4,5$ .

Похибку вимірювання знаходимо як:

$$\delta = \frac{H_0 - H_x}{H_0} \cdot 100\%.$$

$H_0$  – коерцитивна сила стандартних зразків.

Отримане значення не повинно перевищувати величину 8%.

3.3.5 Визначаємо похибку вимірювання коерцитивної сили в середині діапазону рівній 5,10 та 15 А/см, а також визначаємо максимальне значення амплітуди струму, який протікає через котушку первинного перетворювача при підвищеній, пониженій температурі та високій вологості.

Встановлюють прилад в камеру тепла, в якій температура рівна  $+50^{\circ}C$ ,

витримують протягом не менше 1 години, після чого протягом 5 хвилин визначають параметри згідно п.3.3.4.

Аналогічно проводять випробування при низькій температурі і високій вологості.

Повірку приладу рекомендується проводити не рідше одного разу в рік. Виходячи з конкретних умов експлуатації, періодичність повірки визначається метрологічною службою підприємства [21].

При повірці визначається відповідність комплектності приладу, проводиться зовнішній огляд, при якому звертається увага на плавність і чіткість роботи усіх органів управління і комутації. Прилад не повинен мати механічних пошкоджень.

Алгоритм проведення повірки відповідає вище описаному проведенню атестації при нормальних умовах.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Значення охорони праці в забезпеченні безпечних та здорових умов праці

Україна належить до країн з розвинутою газовою промисловістю. Система трубопровідного транспорту газу України експлуатується вже більше п'ятидесяти років, тому великого значення набувають питання підвищення надійності трубопроводів та забезпечення норм охорони праці, які реалізуються шляхом розробки нових методів обслуговування та проведення якісних ремонтних робіт, а також піднесення питань з охорони праці до якісно нового рівня.

Безпечні конструкції приладів можуть забезпечувати здорові умови праці людей, які їх обслуговують. Якщо при розробці обладнання не приділялась належна увага питанню охорони і безпеки праці, то в подальшому процесі експлуатації це може привести до нещасних випадків, або викликати захворювання. Тому розробка безпечної конструкції пристрою, чи виробничого обладнання є досить важливим етапом проектування будь-якого приладу. Велике значення також мають умови приміщення, або території, де буде експлуатуватись пристрій. Сюди відносяться температура, тиск, вологість повітря, вентиляція, освітлення загальне і освітлення робочого місця, наявність шкідливих випромінювань, вібрації, шуми, та інші несприятливі умови.

Створення безпечних і здорових умов праці сприяє підвищенню її продуктивності та зниженню собівартості продукції. Виконання правил й норм з охорони праці в процесі експлуатації електрообладнання забезпечує необхідну електробезпеку, пожежо- й вибухобезпеку установок, сприятливе середовище на робочих місцях операторів, що слідкують за виробничим процесом й робітників, що обслуговують виробничі установки.

Слід зазначити, що охорона праці на підприємстві повинна бути організована таким чином, щоб захищати працюючих від дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів, забезпечувати найбільш сприятливі умови праці на підприємстві. Тому розробка заходів по покращенню умов праці повинна проводитись на кожному підприємстві [24].

#### **4.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища**

В даному розділі проведемо аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть проявитись при експлуатації даного пристрою – коерцитиметра в польових умовах для контролю магістрального трубопроводу.

В неруйнівному контролі коерцитиметр – це магнітний структуроскоп, який використовує в якості інформативного параметра значення коерцитивної сили матеріалу об'єкту контролю. Для здійснення контролю об'єкт намагнічують до насичення з допомогою електромагніта, пропускаючи через його котушку однополярні імпульси струму. Далі в котушку подається розмагнічуючий струм (оберненої полярності) і вимірюється значення струму в момент, коли індукція в магнітному ланцюзі виріб – електромагніт, що вимірюється перетворювачем Холла, дорівнює нулю. У вимірювальному блоці даний струм перетворюється спочатку у напругу, а потім в коерцитивну силу, значення якої зображаються на індикаторі.

Даний метод використовується для вимірюванні твердості, а також для контролю напружено-деформованого стану виробу. Коерцитивна сила являється ефективним параметром накопичення пошкоджень на мікрорівні (в т. зв. бездефектному для дефектоскопії металу).

Характеристика несприятливих факторів, що можуть впливати на здоров'я обслуговуючого персоналу подана в таблиці 4.1 [24, 28].

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційно-небезпечних факторів

Джерела небезпеки	Характеристика потенційно-небезпечних факторів і їх допустимі значення
Наявність в трубопроводі лекозапалюваних рідин	Можливість отримання механічних травм та опіків
Електрообладнання	$U = 12 \text{ В}$ , $I = 2 \text{ А}$ – можливість ураження електричним струмом
Трубопровід – лінія під тиском	$P_{ен} = 6 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Можливість витоку газу і як наслідок хімічне отруєння персоналу, отримання опіків, а також можливість отримання механічних травм.
Падіння з висоти	Травматизм

Оскільки даний прилад працює від напруги 12 В, то ураження електричним струмом не є основною небезпекою в даному випадку. Для запобігання нещасних випадків, обслуговуючий персонал повинен знати правила роботи на магістральному трубопроводі. Зокрема, поблизу трубопроводу забороняється палити, запалювати поблизу трубопроводу відкриті вогнища, перевіряти наявність і місце витоку газу за допомогою вогню.

Проведення робіт без дотримання умов й вимог техніки безпеки забороняється. Перелік даних речовин з вказанням величин і гранично допустимої концентрації (ГДК) приведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика шкідливих речовин

Назва речовини чи матеріалу	ГДК даної речовини, мг/м <sup>3</sup>		Перша допомога
	В робочій зоні	В атмосфері населених пунктів	
	300	-	Вищі концентрації вуглеводводнів є смертельними, при малих – рвота ,сльозотеча. Промивання шлунку,dezінфекція слабким розчином марганцовки, свіже повітря.
Окис вуглецю CO <sub>2</sub>	20	-	Свіже повітря , тепло, 20-30 крапель валеріани на стакан холодної води.

### 4.3 Забезпечення нормальних умов праці

Проектування здорових умов праці починається з правильного вибору території для розміщення підприємства, раціонального розміщення на ній виробничих та допоміжних споруд . В даному випадку нам для забезпечення нормальних умов праці необхідна лабораторія, де ми будемо зберігати даний прилад , проводити його настройку на дослідних зразках, а також по можливості оформлювати результати проведення контролю.

Створення здорових та безпечних умов праці починається з правильного вибору території для розміщення лабораторії та раціонального розташування в ній санітарно- побутових приміщень . При проектуванні лабораторії необхідно врахувати всі негативні фактори , які впливають на умови праці лаборантів.

Метеорологічні умови виробничого середовища є одними з основних і визначаються температурою повітря, його відносною вологістю і швидкістю руху.

Нормальні метеорологічні умови є необхідними для забезпечення нормальної продуктивності праці. При температурі біля 18°C вологість повинна знаходитися в межах від 35 до 70%. При меншій відносній вологості повітря вважається сухим, при більшій – з підвищеною вологістю. Це негативно впливає на організм людини. Сухе повітря приводить до підвищеного випаровування і внаслідок цього з'являється сухість слизових оболонок і шкіри. Дуже вологе повітря, навпаки, послаблює випаровування. Необхідно забезпечити оптимальні метеорологічні умови в лабораторії.

Номенклатура санітарно- побутових приміщень приєднана в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Номенклатура санітарно-побутових приміщень

Назва приміщення	Назва побутових пристроїв (обладнання)	Норма площі на людину, м <sup>2</sup>	Необхідна площа, м <sup>2</sup>	Кількість працюючих	Фактична площа, м <sup>2</sup>
1. Гардеробні блоки	Шафа двійна, розмір 150x50; шафа одинарна, розмір 150x40	0,9	4,5	Списковий	24
2. Душова	Душові стоянки, 4 штуки	1,2	6	склад 5 чоловік	15

Гардеробні призначені для зберігання домашнього та робочого одягу, причому робочий одяг зберігається окремо від домашнього. Душові

розміщуються поблизу бо в приміщенні, що прилягає до гардеробної з дотриманням всіх санітарно-гігієнічних вимог.

Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах, виробничих приміщеннях приведені в таблиці 4.4 [29].

Таблиця 4.4 – Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах об'єкту

Характеристика приміщень	Категорія робіт, ГОСТ 12.1.005-88	Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря
Лабораторія	Легка I -б	Холодний	21-23	40-60	0,1
		Теплий	22-24	40-60	0,2

Враховуючи, що у нашій лабораторії не застосовуються шкідливі речовини і фактично немає шкідливого впливу речовин на організм людини, то нам немає необхідності в застосуванні якихось особливих засобів вентиляції. Характеристика штучної вентиляції приведена в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Характеристика штучної вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність теплообміну, год <sup>-1</sup>
Лабораторія	Механічна	Радіальний вентилятор низького тиску у звичайному виконанні	1,5

Оскільки в даній лабораторії буде здійснюватися налаштування коерцитиметра, а також оформлення результатів, то для здорової роботи працівників необхідно встановити значення освітлення згідно нормативних документів. Освітлення в виробничих приміщеннях може здійснюватися природнім та штучнім освітленням. Також освітлення може здійснюватися як променевою енергією, так і при допомозі люмінісценції. При недостатньому природному освітленні використовують суміщене освітлення. Останнє представляє собою освітлення, при якому в денний час використовується одночасно природне і штучне освітлення. Згідно нормативного документа ДБН В.2.5 -28-2018 одним з основних показників є мінімальна освітленість робочих поверхонь.

#### Характеристика освітленості робочих місць

Назва приміщення	Розряд зорової зони	Освітленість, Лк				Тип світильника
		Загальне освітлення	Комбіноване освітлення	Аварійне (для продовження роботи)	Аварійне (для евакуації)	
Лабораторія	Vб	150	200	10	0,5	ЛБ

#### *Розрахунок природного освітлення.*

Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових прорізів за формулою (при односторонньому освітленні приміщення):

$$100 \frac{S_B}{S_{\Pi}} = \frac{e_n K_z \eta_B K_{\text{буд}}}{m \tau_3 r_1} \quad (4.1)$$

де  $S_B$  – площа вікон ;

$S_{\Pi}$  - площа підлоги ;

$e_n$  – нормоване значення КПО ;

$K_3$  – коефіцієнт запасу ( для виробничих приміщень  $K_3=1,3\div 1,5$ ) ;

$\eta_B$  – світлова характеристика вікон ( визначається з табл. В [30]) ;

$K_{\text{буд}}$  – коефіцієнт , що враховує затінення вікон будівлями ;

$\tau_3$  – загальний коефіцієнт світлопропускання;

$r_1$  - коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, що відбивається від поверхонь приміщення;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату світлоперерізу.

Розрахуємо бокове одностороннє природне освітлення для виробничої ділянки з розмірами  $L \times B=4 \times 4$  м і висотою  $H=3$  м. Висота робочої поверхні  $h_p=0,7$ . Навпроти вікон ділянки немає затіняючих об'єктів. У виробничій діяльності виконуються роботи низької точності.

Необхідна площа вікон визначається за формулою:

$$S_B = \frac{e_n K_3 \eta_B S_{\Pi}}{m \tau_3 r_1 100} \quad (4.2)$$

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

Нормоване значення КПО знайдемо, скориставшись таблицями в [30]:

$$e_n = 1,2 \%$$

Приймаємо коефіцієнт запасу  $K_3 = 1,3$  ; коефіцієнт світлового клімату світлопрорізу  $m = 1,04$  . Значення світлової характеристики  $\eta_B$  визначається відношенням  $L/B=4/4=1$ ,  $B/h=4/2$ . З таблиці [30] знаходимо  $\eta_B = 16$ . Площа підлоги виробничої ділянки становить  $S_{\Pi}=16 \text{ м}^2$ .

Вибираємо вікна з одинарного листового скла з дерев'яними одинарними рамами та з регульованими жалюзями. Звідси за знайденими в таблиці [30] значеннями визначаємо загальний коефіцієнт світлопропускання вікон:  $\tau_3 =$

$$\tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,55$$

Визначаємо середній коефіцієнт відбиття приміщення:

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{\rho_{\text{стелі}}S_{\text{стелі}} + \rho_{\text{стін}}S_{\text{стін}} + \rho_{\text{підлоги}}S_{\text{підлоги}}}{S_{\text{стін}} + S_{\text{стелі}} + S_{\text{підлоги}}} = \frac{0,8 \cdot 16 + 48 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 16}{16 + 16 + 48} = 0,47$$

Порахувавши значення параметрів, що характеризують приміщення  $L/V=4/4=1$ ,  $V/h=4/2$ ,  $I/V=2/4=0.5$ , за таблицею в [27] визначаємо коефіцієнт  $r_i=2,9$ .

Підставивши попередньо знайдені значення визначаємо необхідну площу вікон виробничої дільниці:

$$S_B = \frac{1,2 \cdot 1,3 \cdot 16 \cdot 16}{1,04 \cdot 0,55 \cdot 2,9 \cdot 100} = 2,5 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартні вікна з розміром  $1,5 \times 1,7$ , тоді площа одного вікна становить  $S_B^1 = 2,55 \text{ м}^2$ .

Визначимо необхідну кількість вікон :

$$n = \frac{S_B}{S_B^1} = \frac{2,5}{2,55} = 0,98$$

Приймаємо, що для нашого приміщення необхідно 1 вікно.

В даному підрозділі приведемо засоби індивідуального захисту (табл. 4.7)

Таблиця 4.7 - Засоби індивідуального захисту

Шкідливий виробничий фактор	Призначення засобу індивідуального захисту	Назва засобу індивідуального захисту	Професія працюючого
Промислове забруднення нафто-продуктами	Захист від забруднення	Костюм тип А (куртка і штани)	Дефектоскопіст
Ураження	Захист від	Гумове взуття Эн	

струмом	ураження електричним струмом напругою до 1000В	Гумові рукавиці Эн
---------	--	-----------------------

#### 4.4 Вимоги безпеки при роботі з коерцитиметром

Дефектоскопісти повинні працювати в головних уборах і спецодежі, яка не сковує рухів.

Загальні вимоги:

- Під час роботи бути уважним, не відволікатись.
  - На території виробничого підприємства необхідно виконувати передбачені при виконанні роботи правила.
  - Помітивши порушення правил іншими працівниками або небезпечність для присутніх, необхідно зупинити роботи, доповісти керівнику об'єкта.
- території розміщення магістральних трубопроводів заборонено користуватися відкритим вогнем.
- При одержанні електроприладів необхідно перевірити його працездатність, комплектність
  - Електропроводи не повинні мати оголених місць.
  - До початку робіт необхідно одержати дозвіл на право проведення вогневих робіт в середині резервуара.
  - На робочому місці під ноги поставити діелектричний гумовий коврик, або одіти діелектричне гумове взуття.
  - Для освітлення користуватися ліхтарями напругою 12 В виконаними в вибухонебезпечному виконанні. Включення і виключення ліхтарів проводити тільки за обволочкою.
  - При виконанні робіт по контролю, крім знання ТБ і даної інструкції,

необхідно строго дотримуватися порядку і правил роботи, які передбачені в інструкціях на прилади.

- Застосовувати для запобіжників саморобні вставки забороняється.

#### **4.5 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Пожежна безпека - це система заходів направлених на попередження, усунення причин і ефективну ліквідацію загорання вибухів, пожеж.

Згідно з НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» поняття пожежна безпека означає стан об'єкта, при якому з встановленою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека досягається системою запобігання пожежі шляхом організаційних і технічних заходів, що забезпечують неможливість виникнення пожежі, а також системою пожежного захисту, спрямованої на запобігання впливу на людей небезпечних факторів.

Чітке та суворе дотримання правил пожежної безпеки в лабораторії є однією з головних передумов для забезпечення нормальної та безпечної роботи працівників. Наявність концентрацій вибухонебезпечних вуглеводнів значно підвищують небезпеку виникнення пожежі і, як наслідок, аварійної ситуації. Тому обізнаність працівників з правилами пожежної безпеки та бузумовне їх дотримання є обов'язковим.

В таблиці 4.8 наведений перелік речовин, що становлять небезпеку пожежовиникнення, та їх властивості [31].

Активний пожежний захист обладнання здійснюється шляхом охолодження струменем води приладу, що горить, а також сусідніх приладів, прийняття мір для негайного припинення аварійного витікання вуглеводнів, локалізації пожежі при повному вигоранні розлитих вуглеводнів.

Класифікація виробничого приміщення по пожежній і вибухонебезпеці

приведено в табл. 4.9 [31, 32].

Таблиця 4.8 - Пожежо- та вибухонебезпечні властивості речовин і матеріалів виробництва

Назва речовини	Температура , °C			
	Спалаху	Нижня	Верхня	
Бутан	405	1,8	9,1	Вогнегасник Комбінований (піанопорошок) BK-100
Водень	510	4,0	75	
Етан	472	2,9	15	
Етилен	540	3,0	32	
Метан	537	5,0	15	
Вуглекислий газ	610	12,5	76	
Пропан	466	2,1	9,5	
Сірководень	246	4,3	46	
Аміак	650	15	28	
Ацетилен	335	2,5	81	

Таблиця 4.9 - Класифікація виробничих приміщень по вибухопожежній небезпеці та експлуатації електрообладнання

Назва приміщення	Категорія виробництва та приміщення за вибухопожежної безпекою	Клас приміщення за вибухонебезпекою	Клас приміщення за пожежонебезпекою
Лабораторія	Г	В-1Г	П-III

## ВИСНОВКИ

Виявлення дефектів існуючими методами неруйнівного контролю носить масовий характер, в той час як проблема контролю структурного стану метало-конструкцій немає широкого застосування. І, як показали стендові руйнівні дослідження зразків, якщо взяти в якості інформаційного параметру таку магнітну характеристику, як коерцитивна сила металу, то її приріст складе величину 200- 300%, поки втомні явища розвиваються від стану поставки до передруйнівного під дією прикладених навантажень. В неруйнівному контролі цьому просто немає аналогій.

В бакалаврській роботі розроблений прилад для контролю металоконструкцій коерцитивним методом. В першому розділі приведений аналіз існуючих методів контролю твердості і напружено-деформовного стану. Здійснено постановку задачі на бакалаврську роботу.

В другому розділі детально описані теоретичні аспекти практичної реалізації коерцитивного методу. Також на рисунках приведені залежності коерцитивної сили від прикладеного навантаження. Як видно з графічних залежностей коерцитивної сили і механічних параметрів металу, така характеристики, як коерцитивна сила є дуже чутливою до зміни механічних характеристик металоконструкцій. В цьому розділі приведений розрахунок первинного перетворювача коерцитиметра та розробка структурної схеми коерцитиметра.

В розділі “Метрологічний аналіз коерцитиметра” здійснений аналіз складових похибки коерцитиметра. Проаналізувавши похибки приладу, ми розрахували сумарну похибку (для розробленого нами приладу основна похибка становить  $\pm 8\%$ ). В цьому розділі також описані метрологічна атестація та повірка коерцитиметра.

В четвертому розділі здійснений аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів, які мають місце у виробничому середовищі. Також тут приведені основні вимоги для забезпечення нормальних умов праці та вимоги по пожежній безпеці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Середюк О.Є., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі: навчальний посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 348 с.
2. Середюк О.Є. Електричний, магнітний та електромагнітний види контролю: конспект лекцій. МВ 02070855-801-01. - Івано-Франківськ: Факел, 2001.-170с.
3. Фізичні основи неруйнівного контролю: навчальний посібник / Р.Т. Боднар, В.Т. Камінський, І.С. Кісіль, З.П. Лютак, О.Є. Середюк – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – 384 с.
4. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів: Вид. Державного університету "Львівська політехніка", 2000.-360с.
5. Давачі: Довідник / З. Ю. Готра [та ін.]. – За ред. З. Ю. Готри та О. І. Чайковського – Львів. – 1995. – 312 с.
6. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення: ДСТУ 2865–94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 52 с. – (Національний стандарт України).
7. Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 1. Перелік загальних термінів ДСТУ EN 1330-1:2016 (EN 1330-1:2014, IDT) – [Чинний від 2016-08-01]. – К.: Держстандарт України, 2016. – 30 с. – (Національний стандарт України).
8. Білокур І. П. Елементи дефектології при вивченні неруйнуючого контролю: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1990. – 252 с.
9. Неруйнівний контроль. Магнітопорошковий контроль. Частина 2. Засоби контролю ДСТУ EN ISO 9934-2:2015 (EN ISO 9934-2:2015, IDT; ISO 9934-2:2015, IDT). – [Чинний від 2016-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2015. – 21 с. – (Національний стандарт України).

10. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості: навчальний посібник/ С.А. Чеховський, І.С. Петришин, Н.М. Піндус, С.П. Ващишак, М.А. Кононенко, В.М. Романів, О.Є. Середюк. Л.А. Витвицька / за ред. С.А. Чеховського. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010.- 534с.
11. Неруйнівний контроль сталевих труб. Частина 3. Автоматизований контроль методом розсіювання магнітного потоку по всій окружності безшовних і зварних труб з феромагнітної сталі для виявлення поздовжніх і/або поперечних дефектів ДСТУ EN ISO 10893-3:2015 (EN ISO 10893-3:2011, IDT; ISO 10893-3:2011, IDT). – [Чинний від 2016-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2015. – 9 с. – (Національний стандарт України).
12. Мирошников В. В. Довгостроковий магнітний моніторинг техногенно небезпечних конструкцій // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – № 5. – с. 3-6.
13. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів: навч. посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 324с.
14. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122 с.
15. Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові данні. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.
16. Карпаш О.М. Технічна діагностика бурового та нафтогазового обладнання: навч. посібник. – Івано-Франківськ.: ІФНТУНГ, 2007. – 272 с.
17. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: навч. посібник. Івано-Франківськ.: Факел, 2002. – 400с.
18. ДСТУ EN 1330-1:2016 (EN 1330-1:2014, IDT) Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 1. Перелік загальних термінів.

19. Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові данні. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.
20. Середюк О.Є., Витвицька Л.А., Лютак З.П. Основи кваліметрії та сертифікації в нафтогазовій галузі: навч. посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014.- 294с.
21. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”. №1314-VII від 5 червня 2014р.-(Відомості Верховної Ради , 2014, №30, ст..1008).
22. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю та сертифікація // Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. – 2004. – 560с.
23. Бичківський Р.В., Зорій В.І., Столярчук П.Г. Основи метрологічного забезпечення. – Львів, ДУ “Львівська політехніка”, 1999. –180с.
24. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я.. Охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. ІваноФранківськ: ІФНТУНГ, 2021. 84 с.
25. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об`єктів будівництва
26. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>
27. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>

28. Наказ МОЗУ №30 від 23.02.2000р. «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів шкідливих речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030282-00#Text>

29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>

30. ДБН В.2.5-28-2018 Інженерне обладнання будинків і споруд, Природне і штучне освітлення.

31 . НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні

32. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького - Львів: Афіша, 2000. - 352 с.

33. ДСТУ EN 60051-6:2015 Прилади прямої дії електровимірювальні аналогові, показувальні та допоміжні частини до них.

34. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.

## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Назва бакалаврської роботи: «Розроблення пристрою для магнітного контролю феромагнітних виробів»

Обсяг пояснювальної записки - 73 аркушів.

Перелік креслень графічної частини:

1. БР.МТк–19.00.00.001 – руйнівні методи визначення твердості матеріалів (формат А2);
2. БР.МТк–19.00.00.002 – магнітні властивості феромагнітних матеріалів (формат А2);
3. БР.МТк–19.00.00.003 – взаємозв'язок коерцитивної сили і твердості матеріалу (формат А2);
4. БР.МТк–19.00.00.000 Е1 – коерцитиметр. Схема електрична структурна (формат А1);
5. БР.МТк–19.02.00.000 Е3 – аналого-цифровий перетворювач коерцитиметра. Схема електрична принципова (формат А1);
6. БР.МТк–19.01.00.000 СК – первинний перетворювач коерцитиметра. Складальне креслення (формат А1);
7. БР.МТк–19.00.00.004 – метрологічна модель коерцитиметра (формат А1);

Дата закінчення роботи:

23.06.2025 р.

Підпис:

В.І. Чміль