

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Ноздрачова Катерина Леонідівна

УДК 620.179.16

**ЕКСПРЕС-МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ  
ДОВГОМІРНИХ ВИРОБІВ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу  
речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Харків – 2011**

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м Харків.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Сучков Григорій Михайлович,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
в.о. завідувача кафедри приладів і методів  
неруйнівного контролю

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Тараненко Юрій Карлович,**  
Дніпропетровський університет економіки та права  
ім. Альфреда Нобеля,  
зав. кафедри економічної кібернетики та математичних  
методів в економіці

доктор фізико-математичних наук, професор  
**Стоєв Петро Ілліч,**  
Національний Науковий Центр  
“Харківський фізико-технічний інститут”,  
провідний науковий співробітник

Захист відбудеться «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2011 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Автореферат розісланий «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2011 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С.М. Глоба

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** При експорті металопрокату з України пред'являються жорсткі вимоги до якості продукції. Традиційно, контроль якості виробів виконується ультразвуковим (УЗ) методом.

Дефектоскопія виробів у вигляді стрижнів згідно зі стандартом ГОСТ 21120 повинна виконуватися шляхом сканування перерізів при установці датчиків за декількома напрямками периметра по всій довжині. Це потребує значних втрат робочого часу та коштів. Продуктивність такого контролю невисока, особливо при контролі довгомірних виробів (заготовок круглого, шестигранного, прямокутного та ін.) з перерізом 10 ... 50 мм. Контроль таких виробів хвилями нормального типу низької частоти не завжди надійно виявляє дефекти, а традиційний контроль об'ємними хвилями високої частоти є низькопродуктивним.

Таким чином, висока чутливість традиційного контролю при низькій продуктивності та недостатня чутливість при високій продуктивності низькочастотного методу і засобів потребує розв'язання важливої для промисловості науково-практичної задачі – створенні методу, який забезпечить виявлення дефектів у довгомірних виробках при контролі з високою продуктивністю при збереженні чутливості. Вирішення вказаної задачі визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю НТУ “ХП” у процесі госпдоговірної теми “Розробка макета ЕМА дефектоскопа для ультразвукового контролю внутрішніх і поверхневих дефектів каліброваних прутків шестигранного і круглого перерізу” (ВАТ “Металургійний завод ім. А.К. Серова”, м. Серов, РФ), “Розробка сучасних методів та засобів ультразвукового, вихорострумовеого та магнітного контролю (ПП “ДДП” м. Миколаїв, ВАТ “Харківський котельно-механічний завод“, м. Харків); “Розробка сучасних методів та засобів ультразвукового контролю” (ТОВ Спеціалізоване підприємство “Промнагляд”, м. Донецьк), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – на базі узагальнення досвіду використання ультразвукового контролю в мегагерцовому діапазоні частот розвинути наукові і практичні концепції методу високопродуктивного виявлення внутрішніх і поверхневих дефектів у витягнутих виробках з обмеженими поверхнями з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною виробу до 6 м.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні **задачі**:

- проаналізувати стан ультразвукового контролю довгомірних виробів з високою продуктивністю та вірогідністю;
- розробити ультразвуковий метод виявлення дефектів, орієнтованих вздовж напрямку поширення ультразвукового поля в довгомірних виробках;
- визначити вірогідність контролю довгомірних виробів для розробленого

ультразвукового методу порівняно з традиційним;

- розробити та обґрунтувати концепцію підвищення продуктивності контролю довгомірних виробів;

- експериментально дослідити вплив основних чинників, які визначають результати контролю, визначити допустимі діапазони зміни встановлених параметрів перетворювача;

- розробити блоки аналогової частини електромагнітно-акустичного (ЕМА) засобу для ультразвукового контролю довгомірних виробів з підвищеною продуктивністю.

*Об'єктом досліджень* є процес взаємодії акустичного поля з довгомірним об'єктом контролю, в результаті якого у виробі формується пакет імпульсів, що несе дані про наявність дефектів.

*Предметом досліджень* є методи і засоби для дефектоскопії довгомірних виробів.

*Методи дослідження.* Всі теоретичні аспекти дисертаційної роботи ґрунтуються на диференціальному та інтегральному обчисленні, векторному аналізі та теорії хвиль, які використані при побудові математичної моделі акустичних трактів перетворювачів та їх розрахунків. Оцінка акустичних властивостей виробів проводилася луна-імпульсним і дифракційно-часовим ультразвуковими методами контролю, металографічним методом (за методом Брега). При побудові аналогової частини застосовувалися методи схемо- та системотехніки.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше розроблено і обґрунтовано метод високопродуктивного ультразвукового контролю довгомірних виробів, суть якого полягає у розділенні процесів виявлення дефектів і оцінки їх характеристик. Принцип виявлення дефектів базується на збудженні ультразвукових імпульсів вздовж виробу, формування різнонаправлених акустичних променів шляхом багатократного відбиття від його меж і трансформації ультразвукових хвиль та їх дифракції на дефектах та прийнятті пакетів дифрагованих імпульсів, за характеристиками яких визначають наявність дефектів в об'єкті контролю, з подальшою оцінкою їх характеристик, яку виконують традиційними методами ультразвукового контролю. Розроблене технічне рішення захищено патентом;

- отримала подальший розвиток математична модель акустичного тракту при ультразвуковому контролі імпульсами об'ємних хвиль довгомірних виробів з перехідним перерізом при наявності в них дефектів, що дає можливість визначати характеристики збуджуючо-приймаючого акустичного перетворювача з урахуванням коефіцієнта послаблення матеріалу об'єкта контролю (ОК) та коефіцієнта трансформації;

- вперше теоретично встановлено та експериментально доведено, що для високопродуктивного виявлення дефектів у довгомірних виробках з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м імпульсами об'ємних коливань ультразвукові промені необхідно вводити під кутом в діапазоні від 40 до 50 °. При цьому

частота ультразвукових імпульсів повинна бути в діапазоні від 1,8 до 2,5 МГц та враховувати характеристики виробу;

- вперше експериментально доведено, що в довгомірних виробках з перехідним перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м розробленим методом з високою продуктивністю контролю виявляються внутрішні дефекти як плоскі, так і об'ємні (різної форми та орієнтації) з вірогідністю не нижчою, ніж традиційним;

– вперше обґрунтовано, що електромагнітно-акустичний спосіб збудження і прийому ультразвукових імпульсів є більш ефективним при реалізації розробленого ультразвукового методу, ніж контактний, який традиційно використовують для дефектоскопії довгомірних виробів з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м.

**Практичне значення одержаних результатів** для неруйнівного контролю металевих довгомірних виробів полягає в такому:

- розроблено технологічну інструкцію для контролю каліброваних прутків з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м. Технологічні інструкції впроваджені на ВАТ “Харківський котельно-механічний завод” та ПП “ДДП”.

- В умовах виробництва встановлено, що розроблений метод підвищує продуктивність контролю в десятки разів при збереженні чутливості.

- Розроблено і виготовлено ЕМА перетворювачі для ультразвукового контролю феромагнітних та неферомагнітних циліндричних довгомірних виробів.

- За результатами контролю на ВАТ “Металургійний завод ім. Серова” (м. Серов, РФ) традиційним та розробленим ультразвуковими методами встановлено та підтверджено металографічним аналізом, що вірогідність контролю для нового методу вища на 30 % ніж традиційного.

- За результатами контролю розробленим методом, проведеному на ПП “ДДП” встановлено стовідсоткове виявлення дефектів, у порівнянні з традиційним методом.

Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю НТУ “ХП” у лекційному курсі “Прилади і методи акустичного контролю”.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто. Запропоновано метод, за допомогою якого здійснюється контроль довгомірних виробів без сканування по всій поверхні. Експериментально доведено високу вірогідність виявлення дефектів у довгомірних виробках поперечного перерізу від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м імпульсами об'ємних хвиль без сканування УЗ перетворювачем всієї поверхні виробу. Розроблено й обґрунтовано принцип виявлення дефектів, орієнтованих різним чином у довгомірному виробі по всій його довжині. Обґрунтована можливість високопродуктивного УЗ контролю труб. Розроблено технологію контролю довгомірних виробів перерізу від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м за допомогою застосування луна-дифракційного методу. Здобувачем запропоновано реалізувати новий метод шляхом використання електромагнітно-акустичного

способу збудження і прийому ультразвукових імпульсів, розроблено конструкції ЕМА датчиків для контролю феромагнітних і неферомагнітних довгомірних виробів, а також підходи щодо підвищення вірогідності контролю виробів ЕМА методами, доказана ефективність підвищення виявлюваності дефектів, удосконалено генератор та досліджено особливості роботи аналогової частини ЕМА дефектоскопа. Запропоновано використання традиційних стандартних зразків при контролі стрижнів луна-дифракційним методом. Експериментально визначено вплив основних факторів на роботу ЕМА перетворювачів при контролі феромагнітних довгомірних виробів, таких як величина зазору та кут перекосу між перетворювачем та виробом.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: VI, VII та VIII Міжнародних конференціях “Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности”, (Москва, 2007, 2008, 2009 р.); X Європейській конференції “10<sup>th</sup> European Conference on Non-Destructive Testing” (Москва, 2010); VII, VIII та IX Міжнародних науково-технічних конференціях “Приладобудування: стан і перспективи”, (Київ 2008, 2009, 2010 р.); XI, XII та VIII Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, (Харків, 2008, 2009, 2010 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації відображено в 19 публікаціях, у тому числі: 8 у наукових фахових виданнях ВАК України, 1 патент України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків та 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 179 сторінок, з них: основний текст – 132 сторінки, 52 рисунка до тексту, 18 рисунків на 16 сторінках; 7 таблиць до тексту, 4 додатки на 14 сторінках; 153 найменування використаних літературних джерел на 17 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми, сформульовано мету та основні задачі дисертаційної роботи, наведено дані про її зв’язок з науковими програмами, викладено наукову новизну і практичне значення досліджень, особистий внесок здобувача, вказано відомості щодо апробації результатів дисертації, їх публікації та впровадження.

У **першому розділі** виконано аналіз методів і засобів ультразвукового контролю матеріалів і виробів. Використано накопичений в даному напрямку науки і техніки світовий досвід, в який зробили свій внесок багато вітчизняних та зарубіжних наукових шкіл під керівництвом В.О. Троїцького, О.М. Карпаша, І.С. Кісіля, С.М. Маєвського, А.В. Малинки. та вчені: В.В. Ключев, І.М. Єрмолов, І.П. Білокур, М.В. Корольов, Г.Я. Димкін, Й. Крауткреммер, Р. Крауткреммер, Г.М. Сучков, В.Н. Данилов, В.Г. Щербінський, Ю.В. Ланге, А.К. Гурвіч, В.А. Комаров, S.B. Palmer, Ж.Г. Нікіфоренко, Б.І. Рокштро, В.Є. Чабанов, E.R. Dobbs, Г.А. Буденков, К. Kavashima, R. McClung, H. Kummel, R.H. Pawelletz та інших. Проаналізовано відомі концепції підвищення продуктивності

дефектоскопії довгомірних виробів і підвищення виявлюваності дефектів. На підставі огляду науково-технічної та патентної літератури, аналізу і узагальнень досліджень, що проводяться у галузі контактного і безконтактного контролю, визначено основні невирішені задачі та обґрунтовано вибраний напрямок досліджень.

У **другому розділі** наведено результати теоретичних досліджень, спрямованих на обґрунтування концепції методу, який підвищує продуктивність дефектоскопії прутків з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м та базується на формуванні просторового пакету із сукупності різних типів різнонаправлених хвиль, що поширюються уздовж виробу. При багаторазових перевідбиттях і трансформаціях у виробі буде формуватися на певній відстані від джерела акустичних хвиль хвильовий пакет (рис. 1).

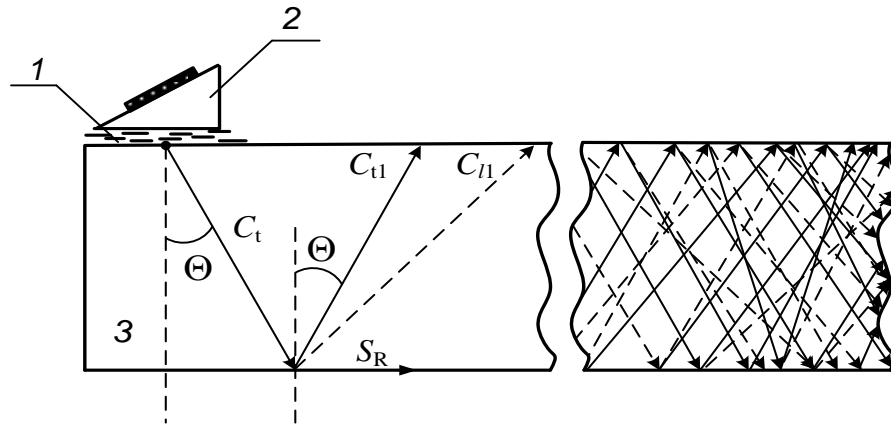


Рис. 1. Схема формування сукупності променів хвильового пакету в довгомірному виробі: штрихом – позначені поздовжні хвилі  $c_t$ ; суцільною лінією – поперечні  $c_t$ ; 1 – контактна рідина; 2 – похилий суміщений п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП); 3 – стрижень;  $\Theta$  – кут введення ультразвукових хвиль;  $S_R$  – поверхневі хвилі

Оскільки виріб обмежений по перерізу, то такий хвильовий пакет буде поширюватися на значні відстані. Тобто виникає можливість проводити контроль довгомірних виробів при необов'язковому скануванні всієї поверхні, як це, наприклад, передбачено ГОСТ 21120, SEP1921, ASNT та іншими. Щоб довести це, розроблена модель акустичного тракту суміщеного перетворювача (тобто перетворювача, який випромінює і приймає акустичні хвилі у виробі) і отвору із плоским торцем довільної орієнтації відносно поверхні ОК. Визначені вихідні дані і передумови й запропонована така послідовність визначень:

1. Нехай хоча б один промінь сформованого акустичного пакета попадає на торець дефекту в ОК.

2. Нехай хоча б один промінь дифрагований на дефекті формує свій хвильовий пакет, який після перевідбиттів і трансформацій потрапить на перетворювач.

3. Оскільки при прокатці довгомірних виробів виникають дефекти в основному витягнуті уздовж виробу, то доцільно подати модель дефекту у вигляді поздовжнього отвору із плоским торцем довільної орієнтації з радіусом  $b$ , розташованим на осі зразка. При цьому передбачається відсутність повного

“обтікання” хвилею такого отвору, тобто хвиля дифрагує на торці дефекту, що практично завжди має місце для реальних дефектів.

4. Перетворювачем у виробі збуджуються і приймаються пружні хвилі з деяким потенціалом та відносним тиском.

Дані розробленої моделі наведено на рис. 2, що пояснює схему розрахунку нормованого тиску  $P_{\text{відб}}$ , який діє на суміщений перетворювач при прийманні акустичних хвиль.

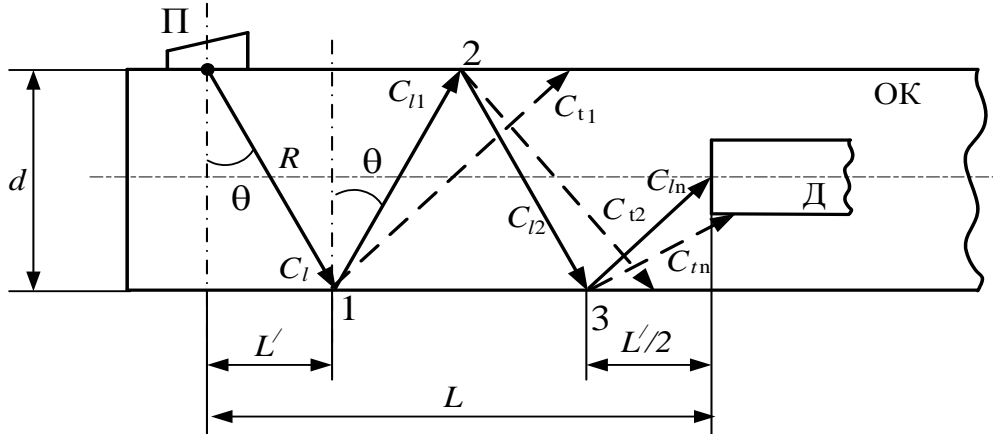


Рис. 2. Схема перевідбиттів ультразвукових імпульсів у стрижні з дефектом Д:  $L$  – відстань від перетворювача до дефекту на поверхні сканування;  $R$  – відстань від точки вводу до точки падіння акустичних імпульсів на поверхню виробу. 1, 2, 3 – точки перевідбиття і трансформації акустичних хвиль у виробі; П – суміщений перетворювач.

Для зручності розрахунків тиску береться центральний промінь. При вираженні відстані  $R$  та кількості перевідбиттів  $n$  через відстань від перетворювача до дефекту на поверхні сканування  $L = \left(n + \frac{1}{2}\right)d \cdot \text{tg}\theta$  та прийнявши, що довжина поздовжньої акустичної хвилі залежить від швидкості  $c_l$  поздовжньої хвилі та частоти  $\lambda_l = c_l / f$ , одержимо

$$|\delta P_{\text{відб}}| \cong \frac{\pi a^2 \pi b^2 f^2 K_{II} \cos^4 \theta}{2 \cdot c_l^2 \left(\frac{L}{d \cdot \text{tg}\theta} - \frac{1}{2}\right)^3 d^2 \left(1 + \frac{1}{2} \sin \theta\right)^2} \cdot \exp \left[ -\delta_l \frac{(2L - d \cdot \text{tg}\theta) \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \sin \theta\right)}{\sin \theta} \right]. \quad (1)$$

Приймаючи, що дефект знаходиться приблизно на відстані  $L = 3\,000$  мм від перетворювача у сталевому зразку радіусом  $d = 18 \pm 0,05$  мм, та вважаючи, що перетворювач представляє собою точку на поверхні виробу, радіусом  $a = 0,5$  мм, за формулою (1) розраховано нормований тиск сигналу, який надходить від дефекту радіусом  $b = 0,5$  мм на суміщений перетворювач. Побудовано графіки залежностей для знаходження кута введення акустичних імпульсів у виріб на нормованих, для промислових перетворювачів частотах (рис. 3) та частоти зондуючих імпульсів, (рис. 4) при яких можна проводити контроль з найменшим послабленням акустичних хвиль у виробі при різних радіусах  $b$  дефектів.



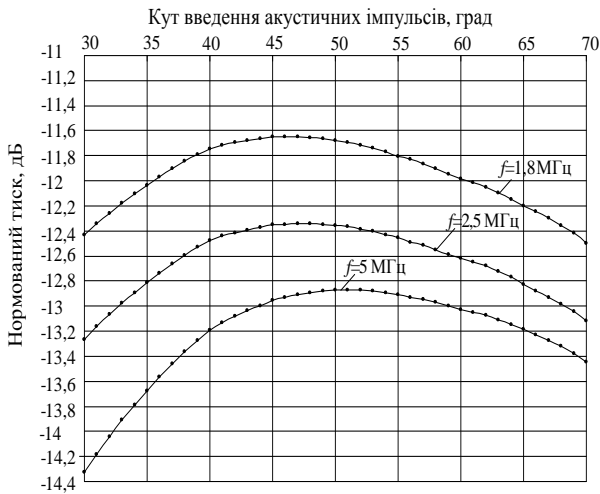


Рис. 3. Залежність нормованого тиску сигналу відбитого від дефекту від кута введення акустичних імпульсів у виріб

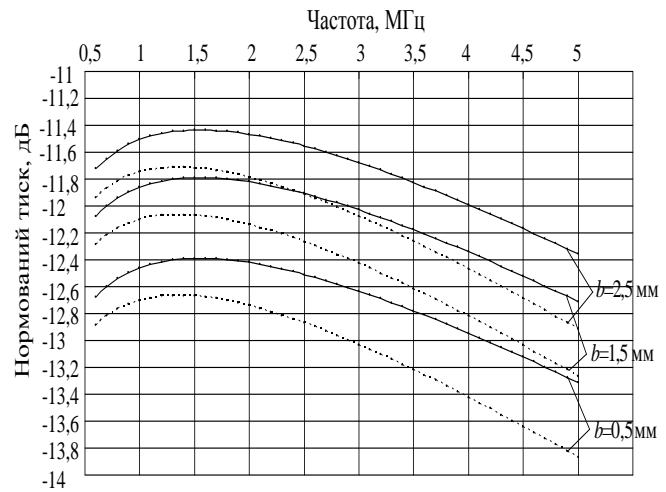


Рис. 4. Залежність нормованого тиску від частоти зондувальних імпульсів для кутів  $\theta = 40^\circ$  (--) та  $\theta = 50^\circ$  (—) при різних радіусах  $b$  дефектів

Аналіз отриманих результатів дає можливість зробити такі висновки:

1) теоретично підтверджено гіпотезу про те, що в розробленій моделі для розрахунку акустичного тракту умовних перетворювачів буде мати місце деяка частина випроміненої енергії, яка повернеться до приймача після дифракції на дефекті;

2) при дифракції акустичних хвиль від дефекту формується різнонаправлена сукупність ультразвукових променів, які повинні проявитися при прийомі у вигляді пакета послідовних імпульсів;

3) у місці розташування приймального перетворювача має місце наявність акустичного тиску, обумовленого відбиттям і дифракцією збуджених раніше ультразвукових імпульсів;

4) на прикладі контролю сталевого зразка теоретично визначені кути введення акустичних імпульсів у виріб від  $40^\circ$  до  $50^\circ$ , частота зондуючих імпульсів від 1,5 до 2,5 МГц та затухання акустичних імпульсів по всій довжині зразка до 3 000 мм, який не перевищує 14 дБ, що доводить можливість проведення контролю довгомірних виробів з перерізом від 10 до 50 мм.

У **третьому розділі** наведено результати експериментального використання ультразвукового методу, обґрунтованого в розділі 2, у заводських та лабораторних умовах.

Для виконання досліджень розроблено стенд, блок-схему якого показано на рис. 5. Для перевірки результатів теоретичних досліджень було проведено контроль серійними стандартними п'єзоелектричними перетворювачами (ПЕП) на сталевому стрижні довжиною  $l = 2050 \pm 5$  мм, діаметром  $d = 18 \pm 0,05$  мм. Зразок мав штучний дефект у вигляді свердління діаметром 2 мм та глибиною 3 мм, розташований на відстані  $500 \pm 1$  мм від лівого торця виробу. При контролі даного виробу стандартними ПЕП перетворювачі розміщували біля лівого торця (рис. 5) на однаковій відстані від дефекту та реєстрували амплітуду прийнятих імпульсів від дефекту та торця виробу.

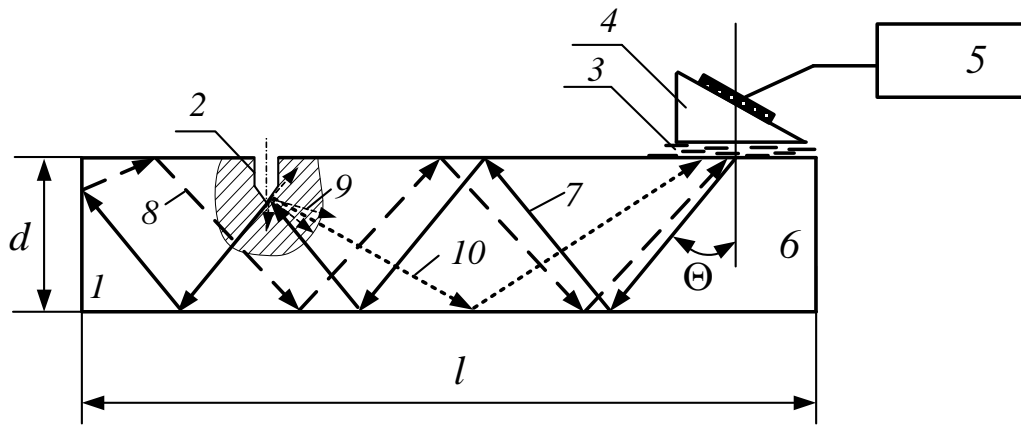


Рис. 5. Спрощена блок-схема стенда для експериментальних досліджень: 1 – лівий торець стрижня; 2 – дефект у вигляді свердління; 3 – контактна рідина; 4 – ПЕП для похилого введення УЗ коливань в стрижень; 5 – серійний УЗ дефектоскоп; 6 – правий торець стрижня; 7 – пакет зондуючих імпульсів; 8 – пакет імпульсів, відбитих від торця стрижня; 9 – дифраговані імпульси на штучному дефекті; 10 – сформований пакет дифрагованих імпульсів у напрямку ПЕП

Таблиця 1

**Результати контролю**

Тип ПЕП	Амплітуда сигналу від дефекту, дБ
П 121-1,25-60°-002	2
П 121-1,25-50°-002	3
П 121-1,25-45°-002	4
П 121-1,25-40°-002	5
П 121-1,8-60°-002	6
П 121-1,8-50°-002	9
П 121-1,8-45°-002	10
П 121-1,8-40°-002	11
П 121-2,5-40°-002	12
П 121-2,5-45°-002	14
П 121-2,5-50°-002	15
П 121-2,5-60°-002	11
П 121-2,5-65°-002	9
П 121-2,5-68°-002	7
П 121-2,5-70°-002	4
П 121-5-40°-002	2
П 121-5-45°-002	1
П 121-5-50°-002	–
П 121-5-65°-002	–
П 121-5-68°-002	–
П 121-5-70°-002	–

Результати контролю наведено в табл. 1.

Таким чином максимум амплітуди від дефекту досягається при застосуванні датчика з частотою 2,5 МГц та кутом введення акустичних імпульсів у виріб 50°.

При контролі виробу перетворювачами на частоті 5 МГц з кутами введення 50, 65, 68, та 70° пакетів імпульсів від дефекту не зареєстровано. Це пояснюється суттєвим ослабленням акустичних сигналів матеріалом стрижня та значним перерозподілом енергії на поверхневі хвилі. При контролі на частотах 1,25 та 1,8 МГц за рахунок збільшення довжини ультразвукової хвилі від дефекту відбивається менша частина енергії акустичних хвиль. Отже, експериментальні дослідження якісно підтверджують теоретичні.

На рис. 6 зображена типова реалізація на екрані дефектоскопа пакетів імпульсів при контролі сталевого (рис. 6 а) та алюмінієвого (рис. 6 б) зразків, довжиною 2050±5 і 1400±5 мм, діаметром 18±0,05 і 50±0,05 мм відповідно, які мали штучні дефекти у вигляді

свердління глибиною 3 і 5 мм та діаметром 2 і 3 мм. Контроль проводили п'єзоелектричними перетворювачами з кутами введення від 70° до 40° з частотами від 1,8 до 5 МГц. Встановлено, що для контролю сталевих стрижнів ефективним є використання ПЕП з кутом введення 50° та частотою 2,5 МГц. При контролі алюмінієвих стрижнів більш ефективним є використання ПЕП з кутом

введення  $40^\circ$  та частотою акустичних імпульсів 1,8 МГц. Тому, при розробці технології високопродуктивного контролю необхідно попередньо визначити параметри ПЕП у зв'язку з характеристиками ОК.

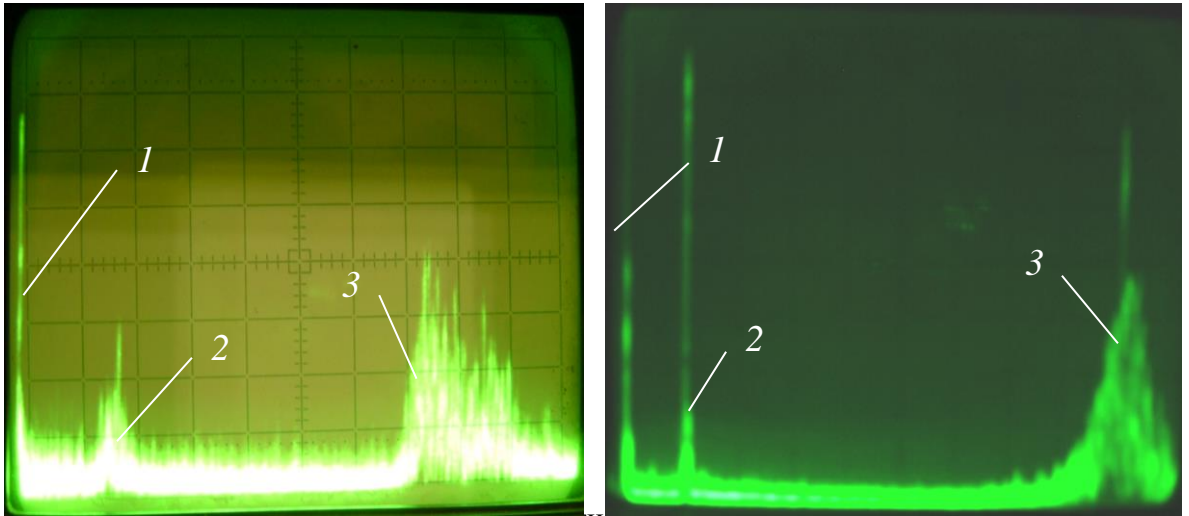


Рис. 6. Реалізація на екрані дефектоскопа з сигналами від дефекту та торця стрижня.

1 – зондуєчий імпульс; 2 – сигнал від дефекту; 3 – імпульс від торця стрижня

На базі запропонованого луна-дифракційного методу було розроблено технологічний процес дефектоскопії, який відбувається за такою схемою. На поверхню введення ультразвукових імпульсів наноситься контактна рідина. Встановлюється датчик на відстані 250...300 мм від центру ОК у бік віддалення від торця. Фіксують місце розташування пакета імпульсів, відбитих від торця. Переміщують перетворювач у бік торця, змочуючи поверхню контактною рідиною. Відстань переміщення датчика повинна бути у діапазоні 250...300 мм від центра ОК відносно торця виробу, щоб виключити неконтрольовану “мертву зону”, обумовлену необхідністю формування пакета різнонаправлених променів у перерізі ОК. Фіксують наявність відбитих пакетних імпульсів у проміжку між зондувальним імпульсом та імпульсом, відбитим від торця. Якщо такий пакетний імпульс з'являється, то це сигнал від дефекту й такий ОК відсортовується. Розвертають ПЕП та видаляють із поверхні раніше нанесену контактну рідину перед датчиком. Переміщують перетворювач у бік іншого торця на ту ж відстань та проводять контроль по тій же схемі. Місце розташування виявлених дефектів фіксується на ОК, наприклад, крейдою, фарбою та ін. Більш детальний аналіз дефекта проводиться традиційним методом, який необхідний для визначення еквівалентних розмірів дефекту після його виявлення.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень підтвержені даними контролю стрижнів, виконаних на ВАТ “Металургійний завод ім. Серова”. Було проведено контроль 490 шт. стрижнів із сталі марки АС35Г2 (довжиною  $4500 \pm 5$  мм, діаметром  $21 \pm 0,05$  мм), серед яких виявилось 74 шт. з реальними дефектами. Контроль проводили ультразвуковим дефектоскопом УД2-70 на частоті 1,8 МГц та кутом введення акустичних імпульсів у виріб  $50^\circ$ . Традиційним методом було виявлено всього 24 дефектних стрижні, новим –

71 шт. За результатами контролю виконано розрахунки вірогідності знаходження дефектів у виробі за загальноприйнятою методикою, з яких можна зробити висновок, що вірогідність контролю новим методом вище на 30 %.

На ПП “ДДП” було проконтрольовано 100 шт. стрижнів діаметром  $40 \pm 0,05$  мм та довжиною  $4000 \pm 5$  мм, з яких за новим методом було відбраковано 9 шт. Традиційним методом теж було відбраковано 9 шт., але 2 стрижні були з допустимими дефектами. Контроль проводився дефектоскопом Томографік УД4-Т з п’єзоелектричними перетворювачами П121-2,5-50 ° М-003 та МВВ-45-2 з кутами введення акустичних хвиль 45 та 50 ° та частотою 2,5 МГц.

Таким чином, одержані результати досліджень розробленого луна-дифракційного методу ультразвукового контролю в промислових умовах підтвердили його високу ефективність.

Аналогічні результати отримані при контролі труб. Виконані дослідження підтвердили можливість продуктивного ультразвукового контролю труб із алюмінію та сталі діаметрами 60 ... 65 мм з товщиною стінок у діапазоні від 4 до 10 мм. При цьому акустичні імпульси необхідно вводити в тіло труб під кутами 40° та 50° відповідно. Для виключення “мертвої зони” ПЕП переміщують на відстань 80 мм.

При контролі традиційним методом відбувається повне сканування поверхні виробу перетворювачем, а це досить трудомісткий процес. Час, за який проходить повне сканування традиційним методом для різних діаметрів та довжин виробів наведений в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок часу сканування за ГОСТ 21120 та новим методом

№ виробу	Діаметр виробу, мм	Площа виробу, м <sup>2</sup>	Час сканування, час	
			Традиційним методом	Новим методом
1	10	0,19	0,1	0,03
2	20	0,38	0,21	0,03
3	30	0,56	0,31	0,03
4	40	0,75	0,42	0,03
5	50	0,94	0,52	0,03

Час, який витрачався на контроль за розробленим УЗ методом визначався для тих же виробів експериментально і складав приблизно 2 хвилини незалежно від довжини та діаметру виробу; якщо у виробі був присутній дефект, то для визначення його місця положення та оцінки витрачалося додатково приблизно 5 хвилин.

Аналіз результатів наведених в таблиці 2 показує, що продуктивність ультразвукового контролю за рахунок використання нового методу зросла від 3 до 18 разів для діаметрів стрижня від 10 до 50 мм та довжиною  $6000 \pm 5$  мм. Продуктивність контролю довгомірних виробів, довжиною  $1000 \pm 5$  мм складає від 2 до 3 разів для діаметрів ОК від 10 до 50 мм.

**Четвертий розділ.** Для виключення впливу контактної рідини на результати та підвищення можливостей контролю використано безконтактний ЕМА метод контролю. Для його реалізації розроблено два типи ЕМА перетворювачів (ЕМАП), які вводять акустичні коливання під кутом до поверхні для контролю феромагнітних та неферомагнітних стрижнів. Для введення акустичних хвиль під кутом до поверхні краще застосовувати традиційний “зигзагоподібний” високочастотний індуктор, форма якого повинна повторювати форму поверхні (рис. 7).

Використання такого індуктора дає можливість у зв’язку з двонапрявленою діаграмою додатково збільшити продуктивність контролю в два рази. Формувати магнітне поле ЕМАП для контролю феромагнітних матеріалів доцільно шляхом створення замкненої системи (рис. 8 а).

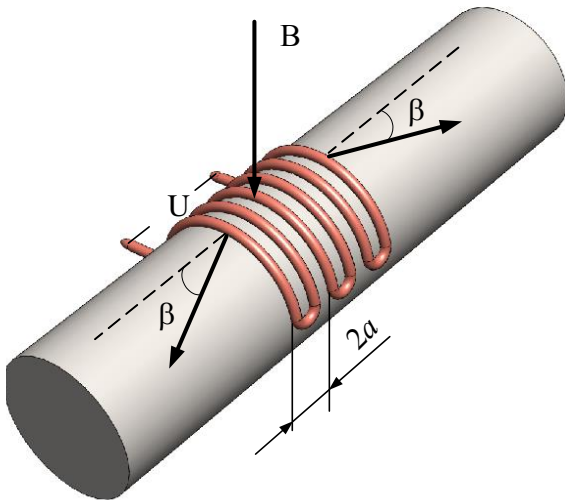


Рис. 7. Модель високочастотного індуктора для контролю циліндричних стрижнів з відомим радіусом ( $\beta$  – кут введення акустичних коливань)

На високочастотну котушку 3 подається напруга живлення з заданою частотою. Струм у котушці формує змінне високочастотне електромагнітне поле, яке взаємодіє з поверхнею контрольованого виробу 1. На цю ж ділянку виробу 1 діє постійне магнітне поле, яке створюється полюсом осердя 5. Взаємодія електромагнітного і поляризуючого магнітного полів у поверхневому шарі виробу 1 приводить до збудження пружних коливань, які поширюються під кутом вздовж виробу 1 в обидві сторони. Якщо у виробі є дефект, то багаторазово відбиті та трансформовані промені ультразвукових імпульсів дифрагують на них, багаторазово відбиваються і в результаті приймаються високочастотною котушкою 7.

У випадку контролю неферомагнітних виробів постійне магнітне поле необхідно створювати шляхом його витіснення в робочу зону ЕМАП (рис. 8 б). Очевидно, що воно буде мати як нормальну, так і тангенціальну компоненту. При цьому відбувається збудження поздовжніх і зсувних об’ємних коливань. У нашому випадку, на відміну від традиційного контролю, це є додатковою кількістю імпульсів у пакеті, що збільшує можливість виявлення дефектів стрижнів. Робота цього пристрою відрізняється від зображеного на рис. 8 а способом формування постійного магнітного поля, а саме: для збудження і прийому використовується одна і та ж високочастотна котушка.

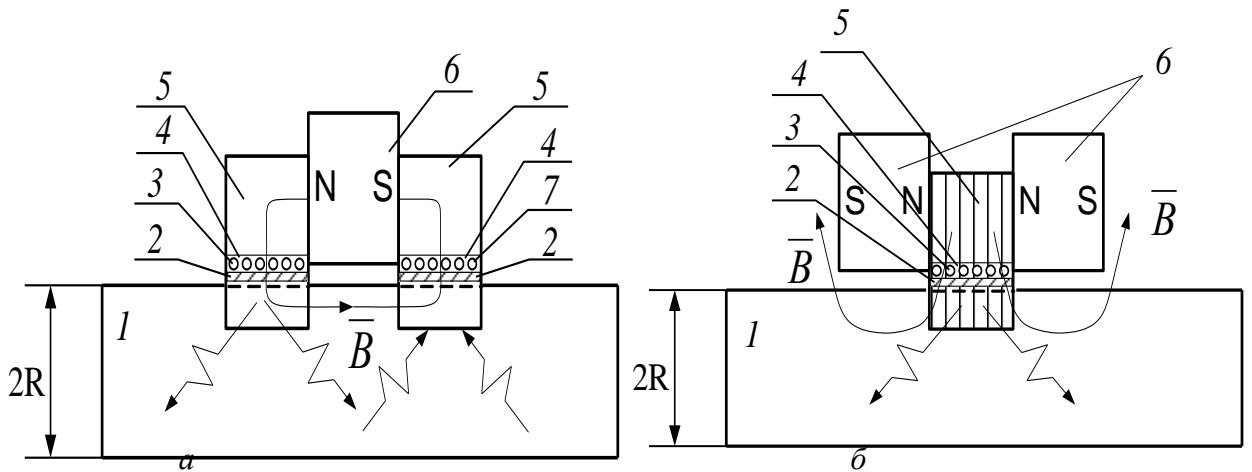


Рис. 8. Спрощене зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП для контролю циліндричних стрижнів з ферромагнітних (а) та неферромагнітних матеріалів (б): 1 – об’єкт контролю; 2 – протектор; 3 – високочастотні котушки, наклеєні на електроізоляційний шар 4; 5 – осердя магніту; 6 – постійні магніти; 7 – високочастотна приймальна котушка

Для виконання експериментальних досліджень за допомогою ЕМАП було розроблено стенд, блок схему якого зображено на рис. 9.

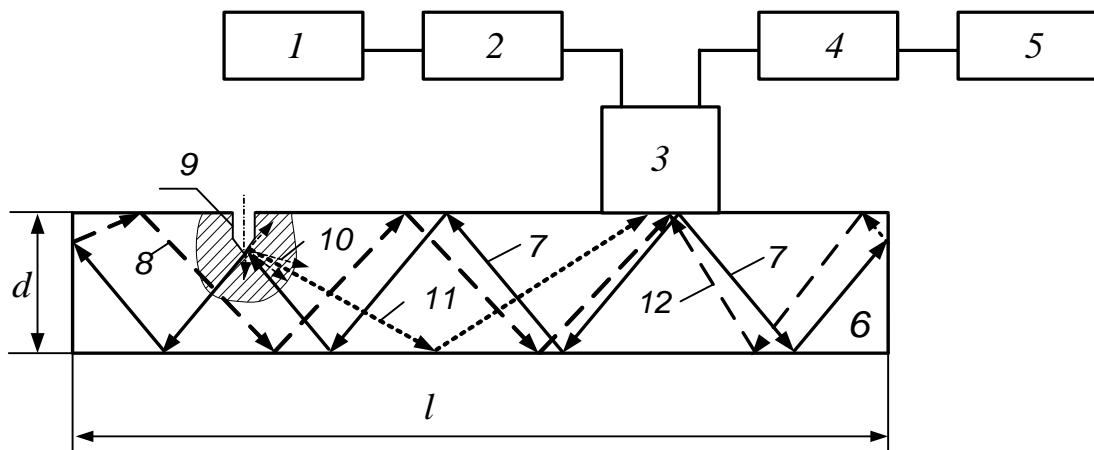


Рис. 9. Спрощена блок схема стенда для експериментальних досліджень: 1 – формувач імпульсів; 2 – генератор зондуючих імпульсів; 3 – ЕМА перетворювач; 4 – попередній підсилювач; 5 – осцилограф; 6 – виріб; 7 – пакети імпульсів, які поширюються вздовж стрижня у двох напрямках до торців виробу; 8, 12 – пакети імпульсів від торців виробу; 9 – дефект у вигляді свердління; 10 – дифраговані імпульси, які формують пакет сигналів 11 у напрямку ЕМАП

Фото екрана осцилографа з результатами контролю сталевого стрижня довжиною  $l = 2050 \pm 5$  мм, діаметром  $d = 18 \pm 0,05$  мм, який мав штучний дефект у вигляді свердління діаметром 2 мм та глибиною 3 мм, розташований на відстані  $500 \pm 2$  мм від лівого торця виробу, наведено на рис. 10.

Щоб забезпечити роботу макета ЕМА дефектоскопа розроблено генератор для формування та підсилення зондуючих імпульсів, що подаються на ЕМАП.

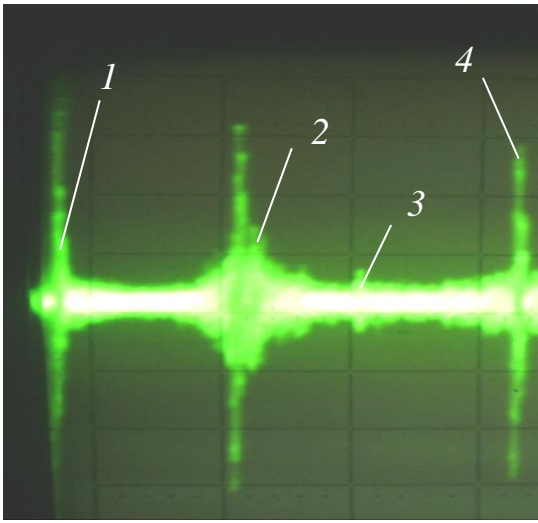


Рис. 10. Реалізація на екрані осцилографу з сигналами від торців стрижня та від дефекту: 1 – зондуючий імпульс; 2, 4 – пакети імпульсів від торців виробу; 3 – пакет імпульсів від дефекту.

Тривалість імпульсу, частота УЗК та частота зондування можуть бути встановлені залежно від типу контролюваного матеріалу. Це дозволяє підстроювати параметри контролю. Забезпечення максимуму амплітуди сигналу від дефекту досягається при кількості імпульсів, рівній трьом, та частоті акустичних коливань 1,5 МГц. Встановлено вплив основних факторів, які визначають роботу ЕМА дефектоскопа, таких як кут перекосу, зазор між перетворювачем та об'єктом контролю. Допустимі зміни для зазору не повинні перевищувати 0,8 мм, а для кута перекосу  $2^\circ$ .

Експериментально підтверджено за традиційною методикою достатню вірогідність виявлюваності дефектів стрижнів перехідного перерізу електромагнітно-акустичними перетворювачами при контролі ОК з феромагнітних і неферомагнітних матеріалів. За рахунок використання ЕМАП продуктивність дефектоскопії додатково збільшується у 2 рази порівняно з ПЕП.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-практичну задачу, що полягає в обґрунтуванні ультразвукового методу контролю, який забезпечує виявлення з високою продуктивністю дефектів у довгомірних виробках.

При цьому одержано такі основні результати.

1. На основі аналізу інформаційних джерел і теоретичних досліджень обґрунтовано необхідність при УЗ дефектоскопії довгомірних виробів з перехідним перерізом проводити контроль в два етапи. Перший – високопродуктивне виявлення дефектів, другий – оцінка характеристик дефектів традиційним методом, наприклад за ГОСТ 21120.

2. Розроблено ультразвуковий метод виявлення дефектів у довгомірному виробі. Його суть полягає в тому, що в ОК збуджують ультразвукові об'ємні хвилі під кутом до поверхні, які за рахунок перевідбиття від меж виробу формують пакет із сукупності дифрагованих різнонаправлених поздовжніх і поперечних хвиль, що заповнюють увесь об'єм виробу й при наявності дефекту дифрагують на його кінцях та формують пакет з дифрагованих поздовжніх і поперечних хвиль, які, трансформуючись на межах виробу, приймаються тим же або іншим

перетворювачем. Теоретично та експериментально обґрунтовано, що при збудженні у виробках типу стрижня похилих акустичних променів можна сформулювати пакет імпульсів з різним напрямком променів, різними типами хвиль і їх просторовим розподілом, які заповнюють увесь переріз на відстані від 30 до 80 мм при діаметрах виробів від 10 до 50 мм та кутах введення 40 та 50 ° акустичних імпульсів в ОК.

3. За результатами контролю сталевих стрижнів довжиною  $4500 \pm 5$  мм та діаметром  $21 \pm 0,05$  мм на ВАТ “Металургійний завод ім. Серова” встановлено, що вірогідність контролю для розробленого ультразвукового методу (яка складає 0,973) вище, ніж традиційного (0,66). Тобто, луна-дифракційний метод дозволяє підвищити вірогідність останнього більше, ніж на 30 %. Результати ж контролю сталевих стрижнів діаметром  $40 \pm 0,055$  мм та довжиною  $4000 \pm 5$  мм, проведеного на ПП “ДДП”, показують, що розробленим ультразвуковим методом відбувається стовідсоткове виявлення дефектів, яке підтверджене традиційним.

4. Встановлено, що формування у довгомірному виробі з перехідним перерізом акустичного поля, що поширюється у вигляді пакета різнонапрямлених променів об’ємних хвиль, дозволяє надійно виявити дефекти різної орієнтації з продуктивністю від 1 до 18 разів вищою, ніж традиційним методом.

5. Визначено умови формування ультразвукового пакета в об’ємі довгомірних виробів з перерізом від 10 до 50 мм. Теоретично та експериментально показано, що кути введення ультразвукових імпульсів повинні знаходитися в інтервалі від 40 до 50 °, частота УЗК у діапазоні від 1,5 до 2,5 МГц в залежності від матеріалу виробу. Доведено також, що притирати поверхні ПЕП до виробу не потрібно. Експериментально встановлено, що розробленим ультразвуковим методом виявляються в ОК дефекти довільної орієнтації, незалежно від місця їх розташування у перерізі стрижня.

6. Для зменшення впливу наявності на поверхні ОК контактної рідини на результати контролю запропоновано луна-дифракційний метод реалізовувати з використанням електромагнітно-акустичного способу збудження і прийому ультразвукових імпульсів. Для цього розроблено електромагнітно-акустичні перетворювачі, блоки аналогової частини ЕМА засобу (генератори зондуючих імпульсів та високочутливі малощумні попередні підсилювачі) та на їх основі дослідницький стенд, за допомогою яких досліджено фактори, що впливають на виявлюваність дефектів. Для цього необхідно збуджувати в ЕМАП струм до 75 А частотою близько 1,5 МГц при заповненні збуджуючого пакета не менше трьох періодів частоти УЗК.

Визначено допустимі діапазони випадкових змін зазору між ЕМАП і поверхнею виробу та перекосів їх площин один відносно одного.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджено при розробці технологічної інструкції для контролю каліброваних прутків круглого перерізу на ВАТ “Харківський котельно-механічний завод” та ПП “ДДП”, у навчальний процес на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю НТУ “ХПІ”, лекційному курсі “Прилади і методи акустичного контролю”.



## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мощные генераторы импульсов для питания ЭМА преобразователей / Г.М. Сучков, А.В. Донченко, А.В. Десятниченко Е.Л. Ноздрачева // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2006.– Вип. 34. – С. 73–78.

*Здобувачем удосконалений генератор для ЕМА дефектоскопа.*

2. Эффективность обработки информации в современных приборах неразрушающего контроля / Г.М. Сучков, Е.А. Алексеев, В.В. Захаренко, Р.А. Мотиенко, А.В. Донченко, М.В. Ананьина, Е.Л. Ноздрачева // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2006. – Вип. 40. – С. 174–177.

*Здобувачем доказана необхідність та ефективність підвищення виявлюваності дефектів з використанням обробки інформації, отриманої при контролі довгомірних виробів.*

3. Ноздрачева К.Л. Метрологічне забезпечення приладів для ЕМА-контролю / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачева // Український метрологічний журнал. – Харків : ННЦ “Інститут метрології”, 2007. – №1. – С. 6–8.

*Здобувачем доказана можливість використання традиційних стандартних зразків при контролі стрижнів розробленим методом.*

4. Повышение чувствительности ЭМА приборов / Г.М. Сучков, А.В. Донченко, А.В. Десятниченко, А.А. Келин, Е.Л. Ноздрачева // Дефектоскопия. – Екатеринбург : 2008. – №2. – С. 15–22.

*Здобувачем розроблені підходи щодо підвищення чутливості контролю виробів ЕМА методами.*

5. Ноздрачева К.Л. Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів в стрижнях / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачева // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – Вип. 48. – С. 104–109.

*Здобувачем експериментально доведена висока виявлюваність дефектів у довгомірних виробках імпульсами об’ємних хвиль.*

6. Ноздрачева К.Л. Математичне моделювання високопродуктивного метода виявлення дефектів у довгомірних виробках / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачева // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – № 22. – С. 7–13.

*Здобувачем розроблений та обґрунтований принцип виявлення дефектів, орієнтованих різним чином у довгомірному виробі по всій його довжині.*

7. Ноздрачева К.Л. Электромагнитно-акустичні перетворювачі для контролю довгомірних виробів луна-дифракційним методом / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачева // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2009. – Вип. 14. – С. 72–81.

*Здобувачем розроблені конструкції ЕМА датчиків для контролю феромагнітних і неферомагнітних довгомірних виробів.*

8. Ноздрачева К.Л. Визначення впливу факторів, які визначають роботу ЕМА дефектоскопу для контролю довгомірних виробів. / Г.М. Сучков,

К.Л. Ноздрачова, С. В. Хащина // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2010. – Вип. 12. – С. 168–175.

*Здобувачем експериментально визначений вплив основних факторів на роботу ЕМА перетворювачів при контролі феромагнітних довгомірних виробів.*

9. Пат. 43950 (Україна), МПК(2009) G 01 N 29/36. Луна-дифракційний спосіб контролю довгомірних виробів / Сучков Г.М., Ноздрачова К.Л.; заявник і власник Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” – № у 2009 03289; заяв. 6.04.2009; надрук. 10.09.2009, Бюл. № 17.

*Здобувачем запропоновано метод, за допомогою якого здійснюється контроль довгомірних виробів без сканування по всій поверхні.*

10. Возможности аналоговой части ЭМА-приборов / Г.М. Сучков, А.В. Донченко, А.В. Десятниченко, А.А. Келин, Е.Л. Ноздрачева // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: VI междунар. конф., 15–17 мая, 2007 г. : тезисы докл. – М., 2007. – С. 89–91.

*Здобувачем досліджені особливості роботи аналогової частини ЕМА дефектоскопа при контролі довгомірних виробів.*

11. Новые возможности ЭМА метода неразрушающего контроля / Г.М. Сучков, А.В. Донченко, А.В. Десятниченко, А.А. Келин, Е.Л. Ноздрачева // Приладобудування 2008: стан і перспективи: VII міжнар. наук.-техн. конф., 22–23 квітня 2008 р. : тези доп. – К. : НТУУ “КПІ”, 2008. – С. 215–216.

*Здобувачем розглянуті питання використання ЕМА методу для контролю довгомірних виробів.*

12. Ноздрачова К.Л. Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів протяжних виробів / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVI міжнар. наук.-практ. конф., 4–6 червня 2008 р. : тези доп. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – С. 445.

*Здобувачем експериментально показано, що дефекти у довгомірних виробах можна виявити об'ємними хвилями без сканування всієї поверхні виробу.*

13. Работы НТУ “ХПИ” в области НК / Г.М. Сучков, Б.М. Горкунов, И.В. Тюпа, А.А. Авраменко, А.В. Десятниченко, А.А. Келин, Ю.В. Хомяк, В.В. Скопенко, Л.В. Глебова, И. Нестерова, А.А. Тищенко, Е.Л. Ноздрачева // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: VII междунар. конф., 11–13 марта, 2008 г. : тезисы докл. – М., 2008. – С. 191–193.

*Здобувачем проаналізовані фактори, які визначають виявляємість дефектів довгомірних виробів розробленим методом.*

14. Ноздрачова К.Л. Электромагнитно-акустичний контроль стрижнів / Г.М. Сучков, Е.Л. Ноздрачева // Приладобудування 2009: стан і перспективи: VIII міжнар. наук.-техн. конф., 28–29 квітня 2009 р. : тези доп. – К. : НТУУ “КПІ”, 2009. – С. 205–206.

*Здобувачем удосконалений ЕМА перетворювач для вводу акустичних імпульсів під кутом до поверхні.*

15. Ноздрачова К.Л. Принцип високопродуктивного виявлення дефектів у довгомірних виробах з перехідним розміром перетину / К.Л. Ноздрачова

// Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVII міжнар. наук.-практ. конф., 20–22 травня 2009 р. : тези доп. – Харків : НТУ “ХП”, 2009. – С. 51.

*Здобувачем доведена висока продуктивність УЗ контролю довгомірних виробів перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м.*

16. Ноздрачова К.Л. Повышение производительности дефектоскопии длинномерных изделий с переходным размером сечения. / Г.М. Сучков, Е.Л. Ноздрачева // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: VIII междунар. конф., 18–20 марта, 2009 г. : тезисы докл. – М., 2009. – С. 51–52.

*Здобувачем експериментально доведено високу продуктивність ультразвукового контролю довгомірних виробів перехідного перерізу.*

17. Ноздрачова К.Л. Луна-дифракційний метод, як засіб підвищення продуктивності ультразвукового контролю труб / К.Л. Ноздрачова, Г.М. Сучков // Приладобудування 2010: стан і перспективи: IX міжнар. наук.-техн. конф., 27–28 квітня 2010 р. : тези доп. – К. : НТУУ “КП”, 2010. – С. 212–213.

*Здобувачем доказана можливість викоспроодуктивного УЗ контролю труб без сканування перетворювачем всієї поверхні виробу.*

18. Ноздрачова К.Л. Технологія контролю довгомірних циліндричних виробів луна-дифракційним методом / К.Л. Ноздрачова, Г.М. Сучков // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: IX міжнар. наук.-практ. конф., 12-14 трав. 2010 р. : тези доп. – Харків : НТУ “ХП”, 2010. – С. 184.

*Здобувачем розроблена технологія контролю довгомірних виробів перехідного перерізу за допомогою застосування луна-дифракційного методу.*

19. Nozdracheva E.L. Development testing of Long-Length Items Testing Using Contact and Non-Contact Methods / G.M. Suchkov, E.L. Nozdracheva // Abstracts of 10<sup>th</sup> European Conference on Non-Destructive Testing. – Moscow, 2010. – P. 185–187.

*Здобувачем запропоновано застосувати безконтактний метод контролю довгомірних виробів двома напрямленими променями.*

## АНОТАЦІЇ

**Ноздрачова К.Л. Експрес-метод ультразвукового контролю довгомірних виробів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010.

Дисертацію присвячено розробці методу високопродуктивного ультразвукового контролю довгомірних виробів з перерізом від 10 до 50 мм та довжиною до 6 м, суть якого полягає у збудженні ультразвукових імпульсів вздовж виробу, багатократному відбитті від його меж і трансформації

ультразвукового поля, дифракції хвиль на дефектах та прийнятті пакетів дифрагованих імпульсів, за характеристиками яких визначають якість об'єкта контролю.

У роботі обґрунтовано принцип виявлення дефектів довільної орієнтації у довгомірних виробках на всій довжині сукупним пакетом різноспрямованих об'ємних хвиль.

Наведені дані отримані під час проведення експериментальних досліджень розробленим луна-дифракційним методом у заводських та лабораторних умовах. При дослідженнях встановлено діапазон ефективної величини перерізів ОК, діапазон кутів введення ультразвукових імпульсів, частоту ультразвукових коливань, “мертву зону” і пов'язану з цим кількість позицій перетворювача, необхідних для виявлення дефектів.

Розроблено два типи електромагнітно-акустичних перетворювачів, які вводять акустичні коливання під кутом до поверхні, для контролю феромагнітних та неферомагнітних стрижнів з перехідним діаметром за допомогою луна-дифракційного методу контролю та розроблені стенди для контролю виробів даного типу. Визначено вплив основних факторів, які визначають роботу електромагнітно-акустичного дефектоскопа.

**Ключові слова:** прилади неруйнівного контролю, система контролю, метод збудження аналітичних сигналів, луна-дифракційний метод контролю, довгомірний вироб, об'ємні хвилі.

**Ноздрачева Е.Л. Экспресс-метод ультразвукового контроля длинномерных изделий. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2010.

Диссертация посвящена решению важной для промышленности научно-практической задачи – повышению производительности при высокой чувствительности традиционного метода ультразвукового контроля длинномерных изделий сечением от 10 до 50 мм и длиной до 6 м, путем создания метода, который позволяет обнаруживать дефекты в изделиях данного типа с высокой продуктивностью при сохранении чувствительности.

Суть разработанного эхо-дифракционного метода состоит в возбуждении ультразвуковых импульсов вдоль изделия, многократном отражении от его границ и трансформации ультразвукового поля, дифракции волн на дефектах и регистрации пакетов дифрагированных импульсов, по характеристикам которых определяют качество объекта контроля.

В работе выполнен анализ методов и средств ультразвукового контроля материалов и изделий. Проанализированы известные концепции повышения производительности дефектоскопии длинномерных изделий и улучшения выявляемости дефектов. Обоснован принцип нахождения дефектов произвольной

ориентации в длинномерных изделиях на всем протяжении совокупным пакетом разнонаправленных объемных волн.

Теоретически показано, что при наличии в объекте контроля дефекта в зоне расположения приемного преобразователя будет иметь место акустическое давление, обусловленное отражением возбужденных прежде ультразвуковых импульсов. Теоретически обоснованы и экспериментально установлены требования относительно пьезоэлектрических преобразователей, которые определяют выявляемость дефектов произвольной ориентации в стержнях и трубах из разных металлов и сплавов. Показано, что углы ввода ультразвуковых импульсов должны находиться в интервале от 40 до 50 °, частота УЗК в диапазоне от 1,5 до 2,5 МГц в зависимости от материала изделия.

Приведены подтверждающие данные, полученные при экспериментальных исследованиях разработанным ультразвуковым методом в заводских и лабораторных условиях. Доказано высокую выявляемость внутренних и поверхностных дефектов в стержнях круглого и шестигранного сечения. Предложено проводить дефектоскопию длинномерных изделий путем разделения контроля на две части: первая состоит в обнаружении дефекта в объекте контроля, вторая в определении его характеристик и местоположения. Определены: диапазон эффективных величин сечений ОК и углов ввода ультразвуковых импульсов, частоты ультразвуковых колебаний, “мертвая зона” и связанное с этим количество позиций датчика, необходимых для выявления дефектов.

Разработано два типа электромагнитно-акустических преобразователей, которые вводят акустические колебания под углом к поверхности, для контроля ферромагнитных и неферромагнитных стержней диаметром от 10 до 50 мм и длиной до 6 м с помощью эхо-дифракционного метода контроля, а также разработаны стенды для контроля изделий данного типа, генератор для формирования и усиления зондирующих импульсов, которые подаются на электромагнитно-акустический преобразователь. Показано, что согласование элементов ЭМАП по электрическим, акустическим и частотными параметрами дает возможность дополнительно повысить чувствительность ЕМА прибора в несколько раз. Определено влияние основных факторов, которые определяют работу электромагнитно-акустического дефектоскопа, таких как угол перекося, зазор между преобразователем и объектом контроля. Установлены требования к напряжению, току, количеству импульсов в пакете и частоте, которые поступают на преобразователь с генератора зондирующих импульсов. Результаты промышленного внедрения показали, что производительность контроля возросла в десятки раз при сохранении чувствительности.

**Ключевые слова:** приборы неразрушающего контроля, система контроля, метод возбуждения аналитических сигналов, эхо-дифракционный метод контроля, длинномерное изделие, объемные волны.

**Manuscript.**

Thesis for scientific degree of candidate of engineering science by speciality 05.11.13 – devices and methods testing and determination of composition of materials. – National technical university “Kharkov polytechnic institute”, Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted working out of the high-efficiency ultrasonic control of lengthy products with the size of section from 10 to 50 mm and length to 6 m which essence consists in activation of ultrasonic impulses along a product, multiple reflections from its borders and transformation of an ultrasonic field, diffraction of waves on defects, and acceptance of packages diffracted impulses behind which characteristics define quality of object of the control.

In work the principle of detection of defects of any orientation in lengthy products on all extent by a cumulative package differently directed volume waves is proved.

The cited data received at experimental researches of a new echo-diffraction method in factory and laboratory conditions. At researches the range of effective sizes of sections of object of the control, a range of angles of injection of ultrasonic impulses, frequencies of ultrasonic waves, “a dead zone” and the number of items of the transducer necessary for detection of defects is established.

It is developed two types of electromagnetic-acoustic transducer which enter acoustic waves under an angle to a surface, for the control ferromagnetic and non-ferromagnetic rods with transitive diameter with a new echo-diffraction method and stands are developed for the control of products of the given type. Influence of major factors which define work of electromagnetic-acoustic defectoscope is defined.

**Keywords:** devices of non-destructive methods, testing system, excitation analytical signal methods, echo-diffraction method, lengthy product, transformation, acoustic pressure, volume waves.