

## **КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 620.179.16

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ХВИЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ**

*Подольян О. О., Тесленко В. Ю.*

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",  
г. Київ, Україна*

*У статті розглянуто результати експериментальних досліджень формування акустичної хвилі електромагнітно-акустичним ЕМА перетворювачем із гребінчастим методом збудження, виходячи з параметрів, які впливають на формування акустичної хвилі. Досліджено можливість введення ультразвукової хвилі за допомогою системи паралельно розташованих ниток-випромінювачів. Проведено експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем, отримані експериментальні дані по зміні вихідного сигналу залежно від величини зазору між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю й сили струму через нитки-випромінювачі. Показано гарну збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень.*

***Ключові слова:** ЕМА, перетворювач, акустичний тиск, неруйнівний контроль, ультразвукова хвиля.*

#### **Вступ. Постановка задачі**

При проведенні неруйнівного контролю металевих виробів ультразвуковим методом широко застосовуються електромагнітно-акустичні (ЕМА) перетворювачі [1, 2], за допомогою яких можна сформувати акустичну хвилю в металі об'єкта, що контролюється, без використання контактної рідини, через іржу або лакофарбове покриття. Принцип дії електромагнітно-акустичного перетворювача (ЕМАП) заснований на формуванні акустичної хвилі в результаті взаємодії первинного та наведеного струмів у поверхневому шарі метала об'єкта контролю.

ЕМА перетворювач складається з вузла підмагнічування та плоского провідникового випромінювача. Вузол підмагнічування – це електромагніт або постійний магніт. Плоский провідниковий випромінювач складається з котушки або набору елементарних провідників, які розташовані поряд з поверхнею об'єкта контролю або виробу.

Завдання введення акустичної хвилі за допомогою ЕМА перетворювачів може бути вирішена тільки в результаті спільного дослідження випромінювання, формування магнітного поля [2, 3, 4] і формування зондуючих імпульсів [5]. Рішення поставленої задачі дослідження випромінювання дозволить підвищити ефективність ультразвукової дефектоскопії по достовірності та швидкості проведення робіт.

Метою даної статті є експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем із гребінчастим методом збудження.

### Теоретичні дослідження формування акустичних коливань системою дискретних елементів

Для реалізації гребінчастого методу збудження необхідне використання ґратки з  $n$  – ниток, розташованих паралельно один одному уздовж поверхні об'єкта контролю, на однаковому від її відстані [4]. Зовнішнє магнітне поле створюється за допомогою електромагніта [2].

При ЕМА збудженні [6] системою синфазних випромінювачів крок (відстань між нитками-випромінювачами)  $l = \lambda$ ; при порушенні систем протифазних випромінювачів  $l = \frac{\lambda}{2}$ , де  $\lambda = \frac{c_c}{f}$  – довжина нормальної хвилі у відповідній робочій точці;  $c_c$  – фазова швидкість УЗ хвилі;  $f$  – робоча частота УЗ випромінювання.

Для подальших досліджень, необхідне знання основних характеристик середовища контролю й параметрів ЕМА датчика. Це питання може розглядатися виходячи з конкретного завдання застосування ЕМА перетворювача (наприклад, аркуші стали конкретної товщини, труби заданого діаметра й товщини стінки й т.д.).

Таким чином, виходячи з характеристик стали, припустимо  $c_c = 5500$  м/с.

У розрахунках [4] використовувалося значення частоти зондувальних імпульсів  $f = 1$  МГц і застосована схема побудови ґрати із синфазними випромінювачами. Отже, нитки-випромінювачі повинні бути розміщені на відстані:

$$l = \lambda = \frac{c_c}{f} = \frac{5500}{10^6} = 5,5 \text{ мм.} \quad (1)$$

Від кількості ниток-випромінювачів і їхньої довжини залежить розмір результуючого пучка випромінювання. Для розрахунків візьмемо 8 ниток-випромінювачів.

Для практичної реалізації ЕМА датчика, пропонується використовувати рівносторонні ґрати, тобто, довжина ниток повинна бути дорівнює ширині пакета з 8 ниток, тобто:

$$l_n = l \cdot (n - 1) = 5,5 \cdot 7 = 38,5 \text{ мм.} \quad (2)$$

Оскільки обрано схему побудови із синфазним підключенням ниток, всі нитки можуть бути включені паралельно.

Конструкція ґрат випромінювачів схематично показані на рис. 1. Тиск у кожній крапці поверхні контрольованого простору під ґратами буде створюватися кожною ниткою-випромінювачем, з урахуванням відстані від розглянутої крапки до центра кожного випромінювача, тобто [7]:

$$p_{\Sigma}(x, y) = \sum_{m=1}^n p_m(x, y), \quad (3)$$

де:  $p_{\Sigma}(x, y)$  – сумарний тиск, створюваний ґратами на поверхні контрольованого простору в крапці з координатами  $(x, y)$ ;  $p_m(x, y)$  – тиск, створюваний на

поверхні контрольованого простору в крапці з координатами  $(x, y)$  випромінювачем  $m$ , де  $m=1, 2, \dots, n$ .

Середній тиск (повний тиск) в нашому випадку на поверхню контрольованого об'єкта, обмежену площею ґрати можуть бути визначені з вираження [7] :

$$p_{cp} = \int_0^{T_z} \int_0^{x_{max}} \int_0^{y_{max}} \dot{p}_{\Sigma}(x, y) dx \cdot dy \cdot dt \quad (4)$$

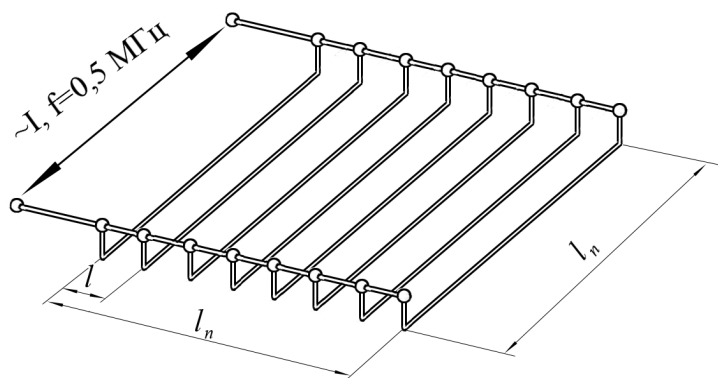


Рис. 1. Схематичне зображення конструкції ґрати випромінювачів

Вираз (4) справедливий у випадку, якщо магнітний потік проходить рівномірно по всьому обсязі порушеної поверхні. Ця умова забезпечується тільки у випадку, якщо довжина магнітопроводу буде порівнянною з довжиною ниток-випромінювачів ґрати.

Результати розрахунків [4]

представлені на графіках (рис. 2 – рис. 3).

На рис. 2 - 3 показані графіки, що ілюструють формування акустичної хвилі ґратами, що складається з ниток-випромінювачів. Спостерігається різке зниження акустичного тиску, при збільшенні значення амплітуди струму  $I_0$  і відстані  $h$  від центру нитки до поверхні об'єкта контролю.

### Експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем із гребінчастим методом збудження

Лабораторна установка для дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем із гребінчастим методом збудження включає наступні прилади:

- ЕМАП з постійним магнітом і гребінчастим випромінювачем з регульованою величиною зазору між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю;
- Приймач ПЕП П 112-2,5 МГц із попереднім „широкополосним” підсилювачем;
- Формувач імпульсів зондування з регульованим у широких межах періодом послідовності імпульсів зондування, регульованою частотою проходження дзвіноподібних імпульсів заповнення, регульованим числом імпульсів заповнення в зондувальному імпульсі;
- Двопроменевий осцилограф З 1-118;
- Акумулятор А9252.

У лабораторній установці застосований саморобний ЕМАП.

Датчик складається з П-подібного формувача магнітного поля й випромінювача, закріплених на опорній пластині. П-подібний магніт, у свою

чергу, змонтований із двох паралельних магнітопроводів, розташованих із двох сторін магнітного циліндра, складеного п'яти круглих постійних самарій-кобальтових магнітів. Між полюсами магнітопроводів установлена опорна пластина.

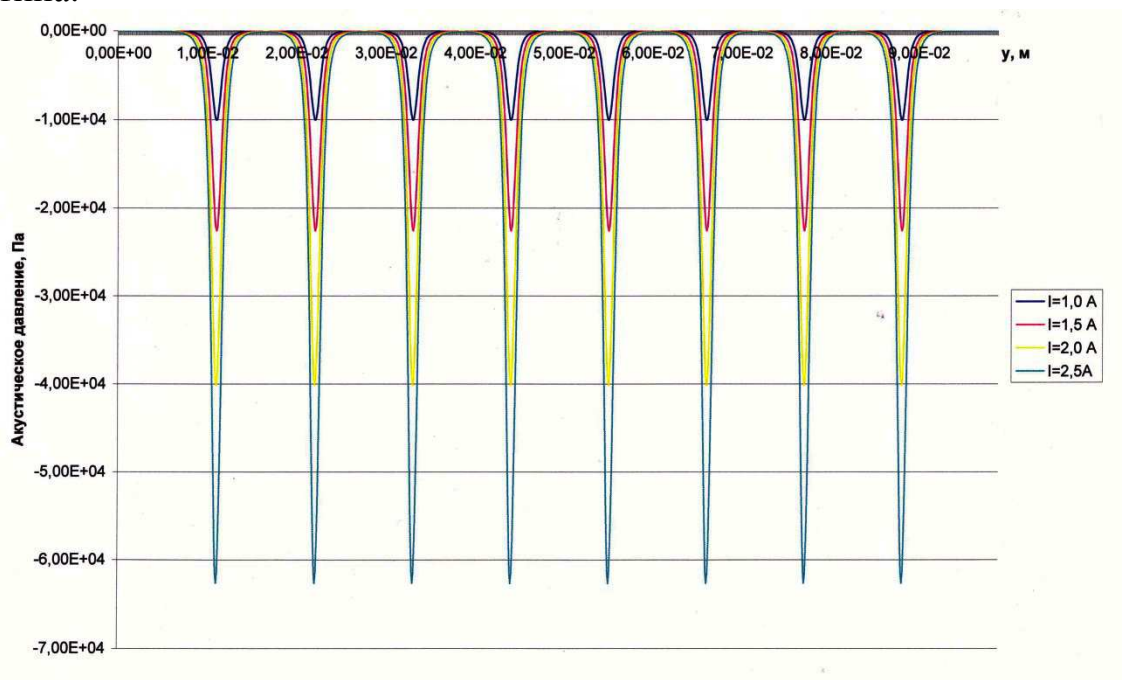


Рис. 2. Сімейство залежностей  $p_z(y)$  при різних значеннях амплітуди струму  $I_0$ ,  $B_z=0,3$  Тл,  $h=1$  мм,  $f_i=0,5$  МГц,

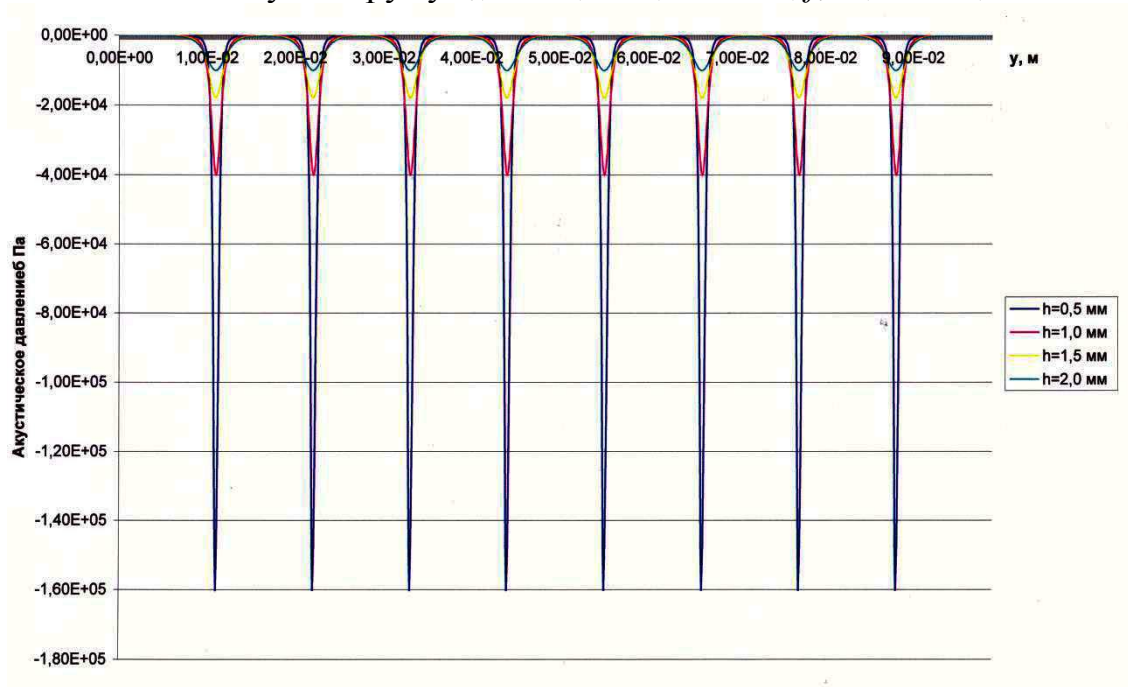


Рис. 3. Сімейство залежностей  $p(y)$  при різних значеннях відстані  $h$ , від 0,5 до 2,0 мм,  $B_z=0,3$  Тл,  $I_0=2$  А,  $f_i=0,5$  МГц

Кріплення передбачає можливість переміщення магнітопроводів щодо опорної пластини у вертикальному напрямку. Опорна пластина виконана з

діелектричного матеріалу, що характеризується низьким коефіцієнтом втрат. До нижньої частини опорної пластини кріпиться, з можливістю оперативної заміни, пластина з нанесеними на ній паралельними нитками-випромінювачами. В опорній пластині зроблений отвір для підключення кабелю до випромінювача. Для виготовлення випромінювачів використаний фольгований склотекстоліт. Нитки виготовлені методом хімічного травлення.

Зовнішній вигляд ЕМА датчика й випромінювачів показаний на рис. 4 - рис. 6.

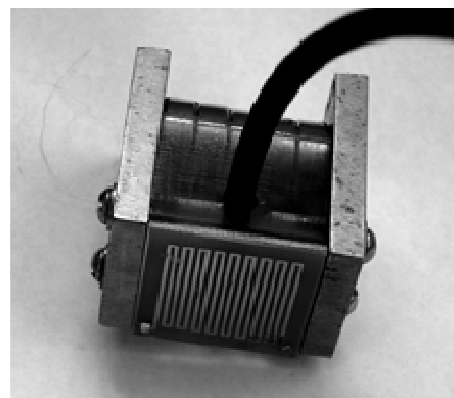
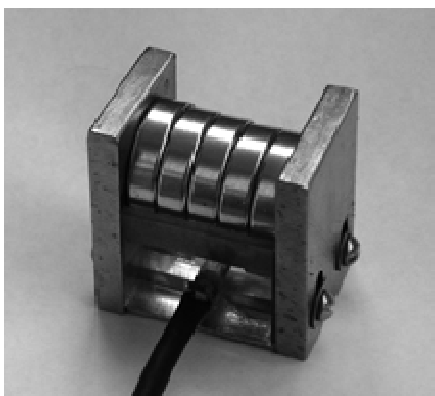


Рис. 4. Зовнішній вигляд ЕМА датчика    Рис. 5. Зовнішній вигляд ЕМА датчика

У лабораторній установці застосований роздільний метод реєстрації акустичної хвилі. Для реєстрації використаний ПЕП, підключений, через „широкополосний” підсилювач, до входу осцилографа. Для зниження впливу шумів на точність виміру, ПЕП жорстко закріплений з боку контролюваного зразка, протилежній стороні установки ЕМАП (рис. 11).

Функціональна схема формувача імпульсів зондування наведена на рис. 7 [5]. У формувачі використаний спосіб формування дзвіноподібних імпульсів [4].

Зовнішній вигляд монтажної плати формувача із установленими елементами показаний на рис. 8.

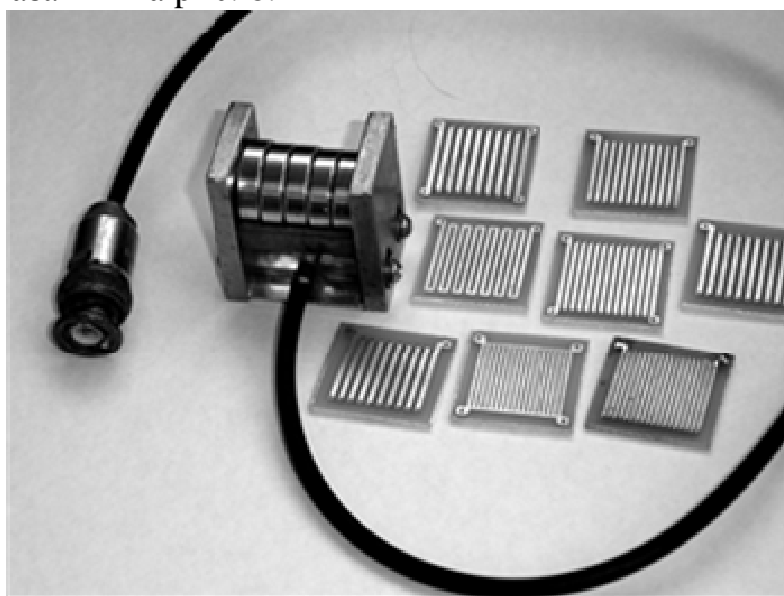


Рис. 6. Зовнішній вигляд ЕМА датчика з випромінювачами

Формувач імпульсів зондування макета, разом із блоком живлення, зібраний у пластмасовому корпусі. На лицьову панель приладу виведене гніздо для підключення ЕМА датчика й гніздо підключення зовнішнього джерела живлення ЕМА датчика (рис. 9 і рис.10). Зовнішній вигляд лабораторної установки представлений на рис. 11.

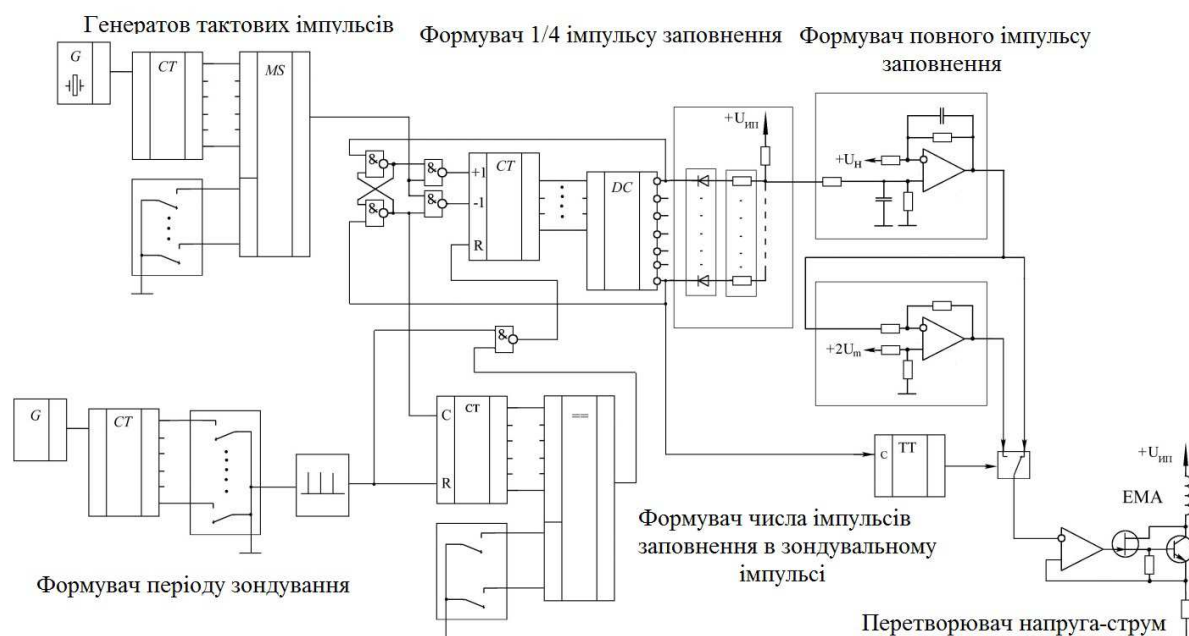


Рис. 7. Функціональна схема формувача імпульсів зондування макета



Рис. 8. Зовнішній вигляд монтажної плати формувача



Рис. 9. Конструкція формувачів імпульсів зондування макета

У процесі виконання роботи отримані експериментальні залежності вихідного сигналу від величини зазору між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю й сили струму через нитки випромінювача (рис. 12 і рис. 13).

На графіках показані як експериментально отримані результати, так і теоретичні залежності. Аналіз графіків дозволяє зробити вивід про їхню гарну збіжність.

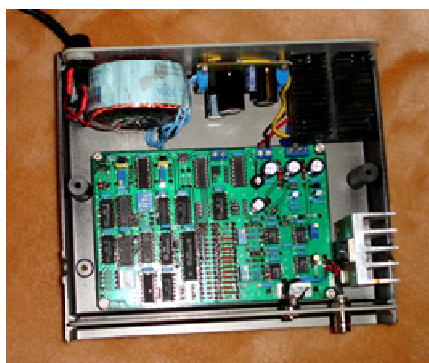


Рис. 10. Конструкція формувачів імпульсів зондування макета



Рис. 11. Зовнішній вигляд лабораторної установки

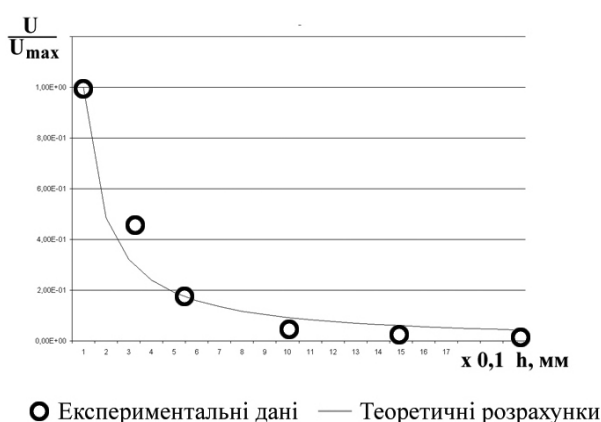


Рис. 12. Експериментально отримані залежності вихідного сигналу від величини зазору між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю

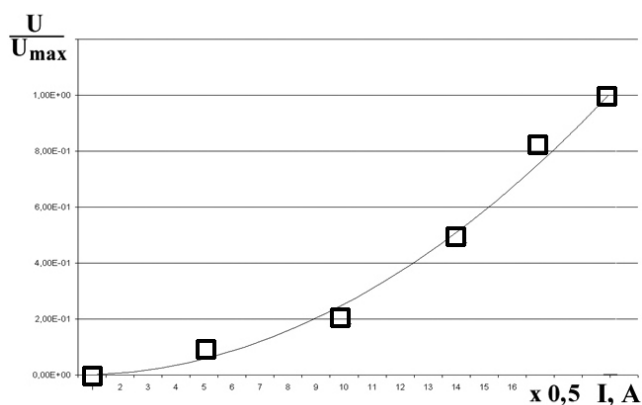


Рис. 13. Експериментально отримана залежність вихідного сигналу від сили струму через нитки випромінювача

### Висновки

Розроблено лабораторну установку для проведення експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем із гребінчастим методом збудження. Акустичний сигнал, збуджуваний ЕМА перетворювачем, сприймається ПЕП, з подальшою візуалізацією на екрані осцилографа.

Розроблено й виготовлений ЕМА перетворювач із гребінчастим методом збудження.

Розроблено й виготовлений формувач зондувального імпульсу із глибоким регулюванням частоти дзвіноподібних імпульсів заповнення, а так само періоду проходження й тривалості зондувальних імпульсів. В основу розробки покладений спосіб формування дзвіноподібних імпульсів, на який отримані патенти на винаходи в патентних відомства України й Росії [3].

Проведено експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем, отримані експериментальні дані по зміні вихідного сигналу залежно від величини зазору між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю й сили струму через нитки-випромінювачі. Показано гарну збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Подальші наукові дослідження планується проводити у напрямку дослідження керованого кутового вводу за допомогою ЕМА перетворювача.

### **Література**

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др.; Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
2. Подолян А. А. Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного оборудования // Методы и приборы контроля качества. – 2006. – Вып. 17. – С. 18 – 21.
3. Пат. на изобретение 2327152 Российская Федерация, МПК (2006) G01N 29/04. ЭМА преобразователь / Подолян А. А. - №2006116939; заявл. 18.05.2006; опубл. 20.06.2008, бюл. № 17.
4. Тымчик Г. С. Анализ электромагнитно-акустического преобразователя с угловым вводом возбуждения ультразвуковой волны / Г. С. Тымчик, А. А. Подолян // Вісник НТУУ «КПІ» серія приладобудування. – 2014. – Вип. 47 – С. 85 – 94.
5. Тымчик Г. С. Формирование импульсов специальной формы для электромагнитных акустических преобразователей / Г. С. Тымчик, А. А. Подолян // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 64 – 69.
6. Электромагнитно-акустические преобразователи для упругих волноводов. / Н. А. Глухов, В. Т. Бобров, С. В. Веремченко и др. // Дефектоскопия. – 1972. – № 4. – С. 39 – 45.
7. Цапенко В. К. Основы ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник. / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.

*Надійшла до редакції  
25 квітня 2015 року*

© Подолян О. О., Тесленко В. Ю., 2015