

УДК 620.179

doi:10.20998/2413-4295.2024.02.04

## ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКИ СИГНАЛУ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

I. К. КОРНЄВ\*, Ю. В. ХОМЯК, М. Є. ПОЗНЯКОВА

кафедра комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

\*e-mail: ik0077ik25@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Розглянуто методи формування та обробки сигналів вихрострумowego перетворювача з використанням персонального комп'ютера. Вихроструміві перетворювачі відіграють важливу роль у вимірюваннях без контакту і знаходять застосування у різних галузях, включаючи промисловість, авіацію та медицину. Стаття розглядає основні аспекти вихрострумowego перетворювача, включаючи його технічні характеристики та принципи роботи. Вивчається обладнання та програмне забезпечення, необхідне для збору та обробки сигналів, і надаються поради щодо вибору відповідного обладнання та програм. Розглядаються методи формування сигналів вихрострумowego перетворювача та основні параметри, що впливають на точність вимірювань. Крім того, приводиться огляд методів обробки сигналів, включаючи аналіз гармонік, фільтрацію та визначення параметрів об'єкта вимірювання. Разом із тим розглядаються практичні застосування вихрострумowego перетворювача і наводяться приклади проектів, де ця технологія знайшла своє застосування. Завдяки наведеній інформації є змога отримати зрозуміле уявлення про те, як використовувати вихроструміві перетворювач з персональним комп'ютером для збору та обробки сигналів, що робить публікацію корисною для інженерів, науковців і спеціалістів у галузі вимірювань та неруйнівного контролю.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль; вихроструміві перетворювач; програмне забезпечення; вимірювання без контакту; точність вимірювань; обробка сигналів

## APPLICATION OF A PERSONAL COMPUTER FOR CONDUCTING AND PROCESSING THE EDDY CURRENT CONTROL SIGNAL

I. KORNIEV, Yu. KHOMYAK, M. POZNIAKOVA

Computer and Radio-Electronic Control and Diagnostic Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Methods of formation and processing of eddy current converter signals using a personal computer are considered. Eddy current transducers play a crucial role in contactless measurements and find applications in various industries, including industrial, aviation, and medical fields. The article delves into the fundamental aspects of eddy current transducers, including their technical specifications and operating principles. It also examines the equipment and software necessary for signal acquisition and processing, offering guidance on selecting the appropriate tools and programs. signal generation methods for eddy current transducers and the key parameters affecting measurement accuracy are discussed. Additionally, it provides an overview of signal processing methods, including harmonic analysis, filtering, and determining object parameters for measurement. Furthermore, it explores practical applications of eddy current transducers and provides examples of projects where this technology has been applied. The provided information enables a clear understanding of how to use an eddy current converter with a personal computer for signal collection and processing, making the publication useful for engineers, scientists, and specialists in the field of measurements and non-destructive testing.

**Keywords:** non-destructive testing (NDT); eddy current transducer; software, contactless measurement; measurement accuracy; signal processing

### Вступ

У сучасному світі, де технологічний прогрес здійснюється з блискавичною швидкістю, точність вимірювань та неруйнівний контроль стають необхідними компонентами галузі наукових досліджень і промислового виробництва. Вимоги до високої якості продукції, надійності об'єктів та процесів, а також безпеки та забезпечення нормальної експлуатації сучасного світу стають все більш складними і вимагають докладного контролю і вимірювань.

У контексті неруйнівного контролю та вимірювань однією з ключових технологій є використання вихрострумівих перетворювачів. Ці інтелектуальні пристрої використовують принципи електромагнітного взаємодії для того, щоб вимірювати різноманітні фізичні параметри об'єктів, навіть без необхідності прямого контакту з ними. Вихроструміві перетворювачі виявили свою незамінність у таких галузях, як виробництво, авіація, медицина, виявлення дефектів матеріалів і багатьох інших.

Стаття присвячена ретельному огляду вихрострумівих перетворювачів та їхнім

потенціалам. Розглянуто методи формування та обробки сигналів, що є ключовими компонентами у процесі вимірювань із використанням цих перетворювачів. Додатково досліджено як можна використовувати стандартний персональний комп'ютер, як потужний інструмент для оптимізації цих процесів та полегшення аналізу отриманих даних.

Усвідомлення цих принципів та практичних навичок роботи з вихрострумними перетворювачами може значно підвищити якість вимірювань та контролю, а також забезпечити безпеку та ефективність різноманітних технологічних процесів та систем.

### Мета роботи

Метою статті є розгляд методів формування та обробки сигналів вихрострумного перетворювача з використанням персонального комп'ютера з орієнтацією на надання інформації щодо технічних аспектів цієї технології, її можливостей та практичних застосувань.

### Основна частина

У широкому значенні слова під сигналом розуміють матеріальний носій інформації. При цьому до сигналів відносять як природні сигнали, так і сигнали створені з певною метою. Природні сигнали, наприклад, космічні сигнали, світлові сигнали, які дозволяють бачити навколишній світ. Прикладом спеціальних створених сигналів можуть служити сигнали, які генеруються з метою вилучення інформації про зміни в об'єкті або процесі (еталонні сигнали) [1,2].

У статті поняття «сигнал» використано у вузькому розумінні, що вказує на сигнал, спеціально створений для передачі повідомлення в інформаційній системі. Сам сигнал базується на фізичних об'єктах або процесах, які виступають носіями інформації (повідомлення). У процесі модуляції ці носії стають сигналом. Параметри цих носіїв, що змінюються з часом відповідно до переданого повідомлення, називаються інформативними параметрами.

У реалізації інформаційних систем, найбільш поширеними носіями інформації є коливання різної природи, включаючи гармонічні коливання та випадкові процеси. В частині технічних інформаційних систем найпоширенішими є коливання електричної напруги і струму. При використанні гармонійних сигналів амплітуда, фаза та частота є інформативними параметрами.

Самі сигнали, як фізичні процеси, піддаються вивченню та аналізу за допомогою різноманітних приладів, включаючи осцилографи, вольтметри, спектроаналізатори, зокрема й вихрострумні перетворювачі. Ці прилади дозволяють отримувати детальну інформацію про характеристики сигналів та їхню динаміку. Для теоретичних досліджень та

аналізу сигналів необхідно побудувати математичну модель, яка описує ці сигнали. Математична модель сигналу може бути представлена як функціональна залежність від часу, така як  $s(t)$ ,  $f(t)$  і інші. Завдяки цій математичній моделі ми можемо абстрагуватися від конкретних фізичних властивостей носія сигналу та описувати лише об'єктивно важливі характеристики сигналу, ігноруючи вторинні аспекти. Знання математичної моделі дозволяє нам порівнювати різні сигнали між собою і класифікувати їх, що є важливим для подальших досліджень та застосувань [3-7].

Зважаючи на те, що для обробки сигналів за допомогою персонального комп'ютера важливо розуміти технологію обробки сигналів в цілому, пропонуємо розглянути цей процес на прикладі вихрострумного перетворювача. Вихрострумний перетворювач (також відомий як Eddy Current Probe або Eddy Current Sensor) використовується для аналізу та обробки сигналів, зокрема вихрових струмів, що виникають при зміні магнітного поля. Основні етапи обробки сигналів вихрострумного перетворювача включають такі дії:

1. Збір сигналу: вихрострумний перетворювач використовує зміни в магнітному полі для генерації вихрових струмів у тестовому об'єкті. При цьому виникає зміна електромагнітного поля, яка відображається у вигляді електричного сигналу, що надходить до перетворювача.

2. Підсилення сигналу: отриманий сигнал може бути слабким, тому його зазвичай підсилюють для подальшого аналізу.

3. Фільтрація: деякі вимірювання можуть супроводжуватися шумами або інтерференцією. Для вилучення непотрібних компонентів або шумів із сигналу використовують фільтрацію.

4. Аналіз параметрів сигналу: отриманий сигнал може містити інформацію про різні параметри об'єкта вимірювання, такі як розмір, форма, електропровідність тощо. Аналізуючи зміни вихрових струмів у сигналі, можна визначити ці параметри.

5. Моделювання та порівняння: сигнали, отримані від вихрострумного перетворювача, можуть бути порівняні з математичними моделями або стандартами, що дозволяє визначити відповідність об'єкта вимірювання певним характеристикам.

6. Подальша обробка і вивід даних: отримані дані можуть бути піддані додатковому аналізу, візуалізації і обробці для отримання корисної інформації [5,6,8].

У даній роботі увага зосереджена на останньому пункті – обробці даних, з використанням персонального комп'ютера. Розглядати обробку сигналів будемо на прикладі системи LabVIEW. LabVIEW – це потужний інструмент для графічного програмування, який надає ряд переваг [7]:

1. Графічне програмування. Відсутність необхідності писати код у текстовому вигляді робить LabVIEW дуже доступним для інженерів і науковців з

різних областей, включаючи автоматизацію, контроль і вимірювання.

2. Багатофункціональність. LabVIEW має багато вбудованих інструментів для вимірювань, аналізу даних, моделювання та симуляції, що робить його ідеальним для розв'язання різних завдань.

3. Широке застосування. Він використовується у багатьох галузях, включаючи промисловість, медицину, авіацію, дослідження та багато інших.

4. Спільнота користувачів. LabVIEW має активну спільноту користувачів і багато ресурсів для навчання та підтримки.

5. Інтеграція з обладнанням. LabVIEW підтримує багато пристроїв із збору даних, що дозволяє легко інтегрувати його з різними типами обладнання.

Отже, обираючи LabVIEW, можливо отримати потужний інструмент для графічного програмування, який допоможе легко розв'язувати завдання в області вимірювань, контролю та автоматизації в різних галузях. Вивчення можливостей середовища

LabVIEW по взаємодії з периферійними пристроями ПК найкраще продемонструвати на практичних прикладах створення віртуальних інструментів, що обробляють аудіосигнали звукової карти. При побудові різних систем управління і вимірювання можна використовувати входи (мікрофонний і лінійний) звукової карти для зчитування сигналів різних датчиків, а лінійні виходи - для управління виконавчими пристроями (реле, електромагнітними муфтами, електродвигунами та т. д.). Загалом, такі системи можна уявити за допомогою функціональної схеми, показаної на рис. 1 [7].

Система обробки сигналів вихрострумовео перетворювача (ВСП) складається в основному з персонального комп'ютера, який обладнано звуковою картою. Це можливість використовувати спрощену схему яка представлена на рис. 2. До схеми входять:  $R_1$ ,  $R_2$  – служать для регулювання вхідного сигналу. Додатковий опір  $R_d$  необхідний для обмеження струму збудження та утворює подільник напруги з реактивним опором вихрострумовео перетворювача [9].

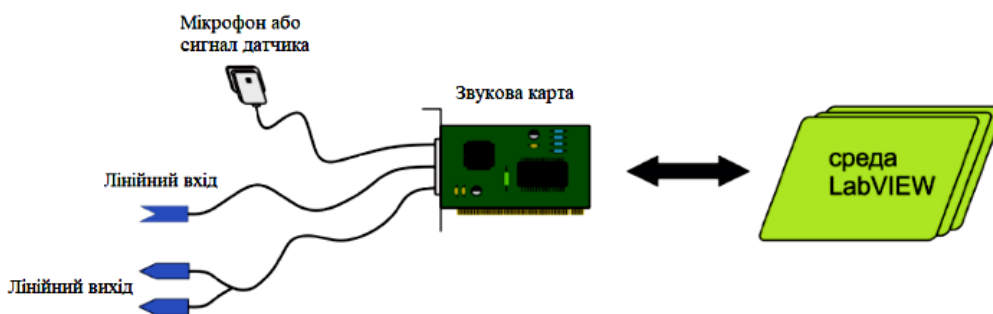


Рис. 1 – Схема взаємодії середовища LabVIEW та периферійних пристроїв ПК

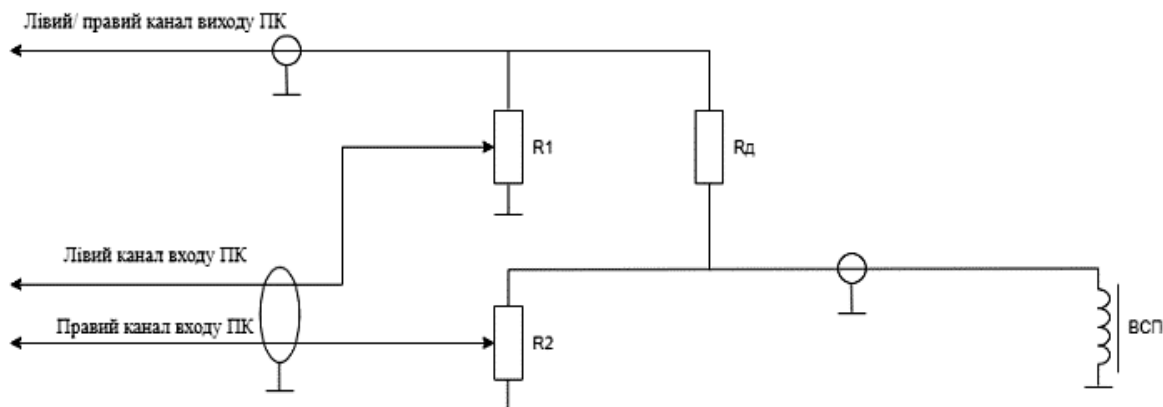


Рис. 2 – Схема підключення ВСП до ПК

Електромагнітне поле вихрових струмів, проходячи через обмотку вимірювання, наводить в ній ЕРС. Вихрострумовео прилад вимірює амплітудне значення напруги на вимірювальній обмотці і / або фазові збільшення. Якщо говорити про аналіз даних від протяжного дефекту типу «тріщина», глибина

дефекту впливає на амплітудне значення, а розкриття дефекту на фазові зрушення [9-11].

На рис. 3 зображено фото частини схеми що під'єднується до звукової карти персонального комп'ютера.

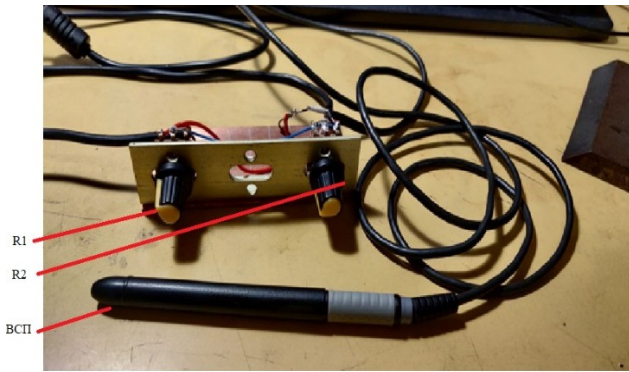


Рис. 3 – Схема підключення ВСП до ПК  
 $R_1, R_2$  - резистори;  
ВСП - Вихрострумний перетворювач

В системі LabVIEW було створено програму, яка складається з двох частин. Перша частина – генерує сигнал для живлення вихрострумного перетворювача. Друга частина обробляє сигнал вихрострумного перетворювача. Блок-схеми програми зображені на рис. 4 та рис. 5.

Генераторна частина програми складається з наступних елементів: 1 – налаштування портів звукової карти на вихід, де встановлена частота дискретизації (192 кГц), кількість каналів що використовуються (2), розрядність АЦП (24 біт); 2 – модуль встановлення частоти сигналу; 3,4 – записують у вихідний порт звукової карти на відтворення синусоїдального сигналу (блок 2); 5 – кнопка закінчення генерації сигналу; 6 – відключення порту звукової карти.

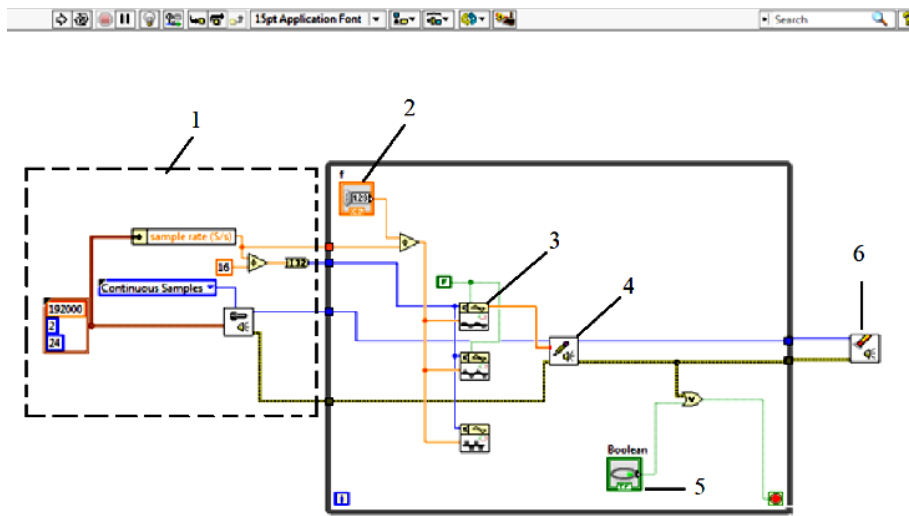


Рис. 4 – Блок-діаграма програми генераторної частини в LabVIEW

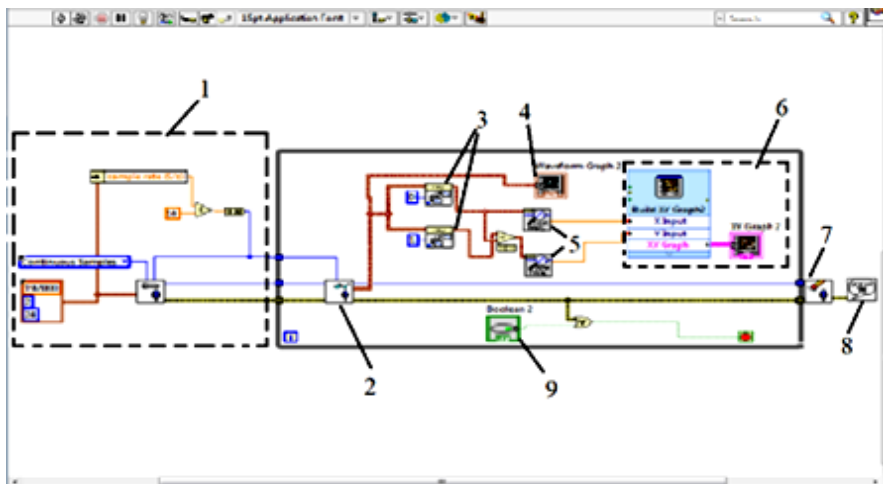


Рис. 5 – Блок-діаграма програми приймальної частини в LabVIEW

Приймальна частина програми складається з наступних елементів: 1 – частина налаштування аналогічна як і в випадку з генерацією; 2 – отримує з блоку звукової карти семпли цифрового сигналу; 3 –

роблять вибірку для лівого (1 порт) та правого (0 порт) каналів лінійного входів звукової карти; 4 – інтерфейс відображення оцифрованого вхідного сигналу; 5 – роблять вибірку значень сигналу

лівого/правого сигналу; 6 – реалізація відображення у комплексній площині; 7 – виконує завершення зчитування сигналів звукової карти при закінченні виконанні програми; 8 – обробляє сигнали помилки, якщо вона існує; 9 – завершує роботу циклу програми.

Після створення програми на першому етапі необхідно провести налаштування. Налаштування здійснюється за допомогою регулювання вхідного вихідного сигналу звукової карти та регулюванням змінних резисторів R1 та R2. Регулювання можна вважати задовільним коли сигнали з лівого та правого каналу приблизно мають близько амплітуду або хоча б в одному масштабі. Таке налаштування можливо здійснювати за допомогою вікна відображення вхідного та вихідного сигналів [10].

Слід відзначити що така система призначена, щоб аналізувати або мати змогу відрізнати сигнал від дефекту та від зазору, які є у проміжку між датчиком вихрострумowego перетворювача та об'єктом контролю. Як об'єкт контролю ми використовували феромагнітну сталь У10 із закатаною тріщиною глибиною від 2.3 мм до 3 мм. Дослідження проводилися на частоті 30 кГц. На рис. 6 зображено інтерфейс розробленої програми, на якій отриманий сигнал відображається на комплексній площині. Корисний сигнал відображаються у вигляді білої крапки на чорному фоні. Позиція 1 відповідає тій ситуації коли перетворювач знаходиться в повітрі далеко від об'єкта контролю та інших металевих виробів. Коли ми встановлюємо наш перетворювач безпосередньо на поверхні об'єкту контролю наша крапка-сигнал переміщуються у позицію 2, що буде відповідати та відповідає тому, що перетворювач встановлено на поверхні об'єкту контролю. При переміщенні перетворювача по поверхні та при переході на тріщину наш сигнал-крапка зміщується позицію 3. На рис. 6 зображено інтерфейс розробленої програми на якій отриманий сигнал відображено на комплексній площині [11,12].

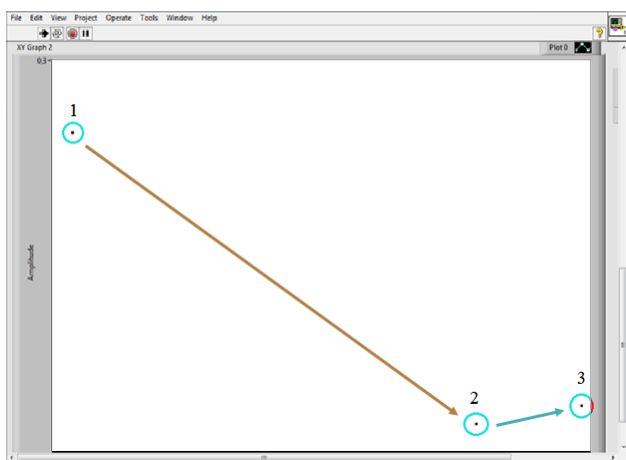


Рис. 6 – Відображення сигналу ВСП на комплексній площині

## Висновки

Математичні моделі сигналів стають важливим інструментом для дослідження та оптимізації вимірювань, які здійснюються за допомогою вихрострумowego перетворювача. Вони допомагають підвищити точність та надійність вимірювань у різних галузях, таких як промисловість, авіація та медицина. Одним з потенційних застосувань цих математичних моделей є створення системи на базі персонального комп'ютера з сучасною звуковою картою для обробки сигналу вихрострумowego перетворювача. Ця система може бути використана для контролю та діагностики металевих виробів за допомогою вихрострумowego методу. Використовуючи цей підхід, можна підвищити ефективність та точність досліджень і контролю якості металевих виробів.

## Список літератури

- Schwarzinger A. *Digital Signal Processing in Modern Communication Systems*. 2022. 637 p.
- Serkov A., Trubchaninova K., Mezitis M. Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3. No. 4. P. 33-38. doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.04.
- Abramovych A. O., Agalidi Y. S., Piddubnyi V. O. Radio engineering system identification of metals on the basis of eddy-current converters. *Scientific Bulletin of Zaporizhzhya National Technical University, Radioelektronika, Informatics, Management*. 2020. № 1. P. 7-17. doi: 10.15588/1607-3274-2020-1-1.
- Azmaiparashvili Z., Otkhozoria N. Mathematical Model for Studying the Accuracy Characteristics of Devices for Measuring the Resonant Frequency of Oscillatory Systems. *New Approaches in Engineering Research*. 2021. P. 121-131. doi: 10.9734/bpi/naer/v5/10242D.
- Tenoudji F. C. *Analog and Digital Signal Analysis*. 2016. 631 p.
- Genova J. *Electronic Warfare Signal. Processing*. 2018. P. 300.
- Ronald W. Larsen. *LabVIEW for Engineers*. Pentice Hall. 2017. 396 p.
- Najmi A.-H., TMoon T. *Advanced Signal Processing: A Concise Guide*. 2020. 352 p.
- Harris F. J. *Multirate Signal Processing for Communication Systems*. 2021. 616 p.
- Jiuhao Ge, Chenkai Yang, Fanwei Yu, Noritaka Yusa, Transformation of the rotating eddy current testing signal at the desired eddy current orientation. *NDT & E International*. 2022. Vol. 125. P. 102551. doi: 10.1016/j.ndteint.2021.102551.
- Cormerais R., Longo R., Duclos A., Wasselynck G., Berthiau G. Non destructive Eddy Currents inversion using Artificial Neural Networks and data augmentation. *NDT & E International*. 2022. Vol. 129. P. 102635. doi: 10.1016/j.ndteint.2022.102635.
- Uchanin V. Enhanced eddy current techniques for detection of surface-breaking cracks in aircraft structures. *Transactions on Aerospace research*. 2021. Iss. 1(262). P. 1-14. doi: 10.2478/tar-2021-0001.

### References (transliterated)

1. Schwarzinger A. *Digital Signal Processing in Modern Communication Systems*. 2022. 637 p.
2. Serkov A., Trubchaninova K., Mezitis M. Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals. *Advanced Information Systems*, 2019, Vol. 3, No. 4, pp. 33-38, doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.04.
3. Abramovych A. O., Agalidi Y. S., Piddubnyi V. O. Radio engineering system identification of metals on the basis of eddy-current converters. *Scientific Bulletin of Zaporizhzhya National Technical University, Radioelektronika, Informatics, Management*, 2020, No. 1, pp. 7–17, doi: 10.15588/1607-3274-2020-1-1.
4. Azmaiparashvili Z., Otkhozoria N. Mathematical Model for Studying the Accuracy Characteristics of Devices for Measuring the Resonant Frequency of Oscillatory Systems. *New Approaches in Engineering Research*, 2021, pp. 121-131, doi: 10.9734/bpi/naer/v5/10242D.
5. Tenoudji F. C. *Analog and Digital Signal Analysis*. 2016, 631 p.
6. Genova J. *Electronic Warfare Signal Processing*. 2018. 300 p.
7. Ronald W. Larsen *LabVIEW for Engineers*. Pentice Hall. 2017. 396 p.
8. Najmi A.-H., TMOon T. *Advanced Signal Processing: A Concise Guide*. 2020. 352 p.
9. Harris F. J. *Multirate Signal Processing for Communication Systems*. 2021. 616 p.
10. Jiu hao Ge, Chenkai Yang, Fanwei Yu, Noritaka Yusa, Transformation of the rotating eddy current testing signal at the desired eddy current orientation. *NDT & E International*, 2022, Vol.125, pp. 102551, doi: 10.1016/j.ndteint.2021.102551.
11. Cormerais R., Longo R., Duclos A., Wasselynck G., Berthiau G. Non destructive Eddy Currents inversion using Artificial Neural Networks and data augmentation. *NDT & E International*, 2022, Vol. 129, pp. 102635, doi: 10.1016/j.ndteint.2022.102635.
12. Uchanin V. Enhanced eddy current techniques for detection of surface-breaking cracks in aircraft structures. *Transactions on Aerospace research*, 2021, Iss. 1(262), pp. 1–14, doi: 10.2478/tar-2021-0001.

### Відомості про авторів (About authors)

**Корнєв Іван Костянтинович** – аспірант кафедри «Комп’ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0009-0005-8106-1757; e-mail: ik0077ik25@gmail.com

**Korniev Ivan** – PhD student of the Department “Computer and Radio-Electronic Control and Diagnostic Systems”, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0005-8106-1757; tel.: (050) 010-57-42; e-mail: ik0077ik25@gmail.com.

**Хомяк Юрій Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Комп’ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6998-8393; e-mail: homyak.yv@gmail.com.

**Homyak Yuri** – candidate of technical sciences, associate professor, Head of Department “Computer and Radio-Electronic Control and Diagnostic Systems”, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6998-8393; e-mail: homyak.yv@gmail.com.

**Познякова Маргарита Євгенівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп’ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0009-0000-1830-8730; e-mail: poznyakova-me@ukr.net.

**Pozniakova Marharyta** – candidate of technical sciences, associate professor of Department “Computer and Radio-Electronic Control and Diagnostic Systems”, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0000-1830-8730; e-mail: poznyakova-me@ukr.net.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Корнєв І. К., Хомяк Ю. В., Познякова М. Є. Застосування персонального комп’ютера для проведення та обробки сигналу вихрострумового контролю. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2024. № 2 (20). С. 24-29. doi:10.20998/2413-4295.2024.02.04.

*Please cite this article as:*

Korniev I., Khomyak Yu., Pozniakova M. Application of a personal computer for conducting and processing the eddy current control signal. *Bulletin of the National Technical University “KhPI”*. Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2024, no. no. 2(20), pp. 24-29, doi:10.20998/2413-4295.2024.02.04.

*Надійшла (received) 31.03.2024  
Прийнята (accepted) 10.05.2024*