

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В. М. УЧАНІН

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.

E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua; vuchanin@gmail.com

Запропоновано проект розширеної загальної класифікації конструкцій вихрострумівих перетворювачів. В запропоновану класифікацію, зокрема, вперше введені багатоеlementні вихрострумівих перетворювачі, які реалізують технологію електронного або комбінованого сканування поверхні об'єкта контролю, а також вихрострумівих перетворювачі дальнього поля. Подано приклади побудови конструкцій вихрострумівих перетворювачів, зокрема багатоеlementних вихрострумівих перетворювачів і вихрострумівих перетворювачів дальнього поля. Бібліогр. 26, рис. 7.

Ключові слова: вихрострумівий контроль, вихрострумівих перетворювачі, конструкція, класифікація

Конструкція і характеристики вихрострумівих перетворювачів (ВСП) мають вирішальне значення для забезпечення ефективного вихрострумівого контролю, тому обґрунтування оптимального вибору ВСП є чи не найважливішим етапом під час розробки нових засобів і технологій вихрострумівого контролю [1–14].

В попередніх роботах була запропонована розширена класифікація накладних ВСП [13, 14]. В ній були введені нові класи ВСП (зокрема, анаксіальні ВСП, ВСП подвійного диференціювання або мультидиференційні), які не були класифіковані у раніш-

ніх роботах [1–12]. В роботах [13, 14] також були подані приклади із науково-технічної літератури, які обґрунтовували введення нових класів ВСП.

Аналіз нових напрацювань з вихрострумівого методу показав, що існуюча загальна класифікація ВСП (не тільки накладних) також вже не відповідає сучасному стану розвитку методу. Сьогодні вже не можна нехтувати появою нових ВСП, зокрема багатоеlementних ВСП (array eddy current probe) або ВСП дальнього поля (remote field), які відсутні у будь яких відомих класифікаціях. Крім того, є випадки, коли використовувані терміни не

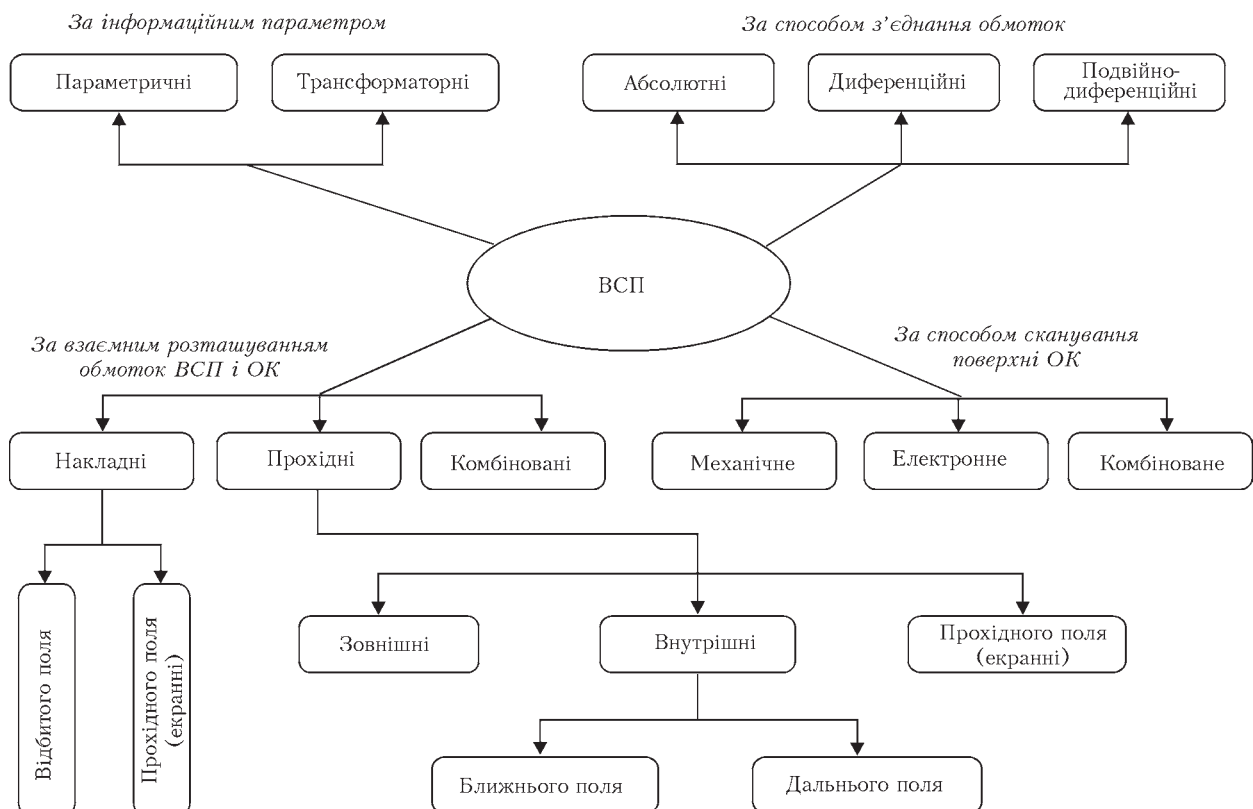


Рис. 1. Запропонована класифікація вихрострумівих перетворювачів

завжди відповідають фізичній суті окремих типів ВСП. В цій статті зроблена спроба запропонувати проект загальної класифікації ВСП з метою розпочати дискусію щодо її формування.

Проект розширеної класифікації вихрострумових перетворювачів. Запропонована нова загальна класифікація ВСП подана на рис. 1, а відповідні схематичні зображення конструкцій основних типів ВСП представлено на рис. 2.

В запропонованій класифікації використано традиційні класифікаційні ознаки. Зокрема, залежно від інформаційного параметра, тобто від того, в який параметр перетворюються параметри об'єкта контролю (ОК), ВСП поділяють на параметричні (рис. 2, а-в) та трансформаторні (рис. 2, г-и). Параметричні ВСП у більшості випадків мають одну обмотку, комплексний опір (імпеданс) якої залежить від характеристик ОК.

Єдина обмотка параметричного ВСП виконує дві функції – збудження вихрових струмів і реєстрації реакції її інформаційних параметрів на зміну характеристик ОК. Тому на виносці рис. 2 ця єдина обмотка позначена подвійною нумерацією (1, 2). Трансформаторні ВСП мають, як мінімум, дві обмотки: обмотку збудження (ОЗ), яка призначена для створення первинного електромагнітного поля, і вимірювальну обмотку (ВО), на вихідну напругу якої впливають параметри ОК. Параметричні ВСП є простішими за конструкцією і можуть бути меншими за розмірами. Однак в параметричних ВСП власний опір обмотки додається до внесеного опору, що несе інформацію про параметри ОК, і нестабільність параметрів обмотки, зокрема температурна, є суттєвою. Тому вважається, що температурної стабільності легше досягнути в трансформаторних ВСП [6].

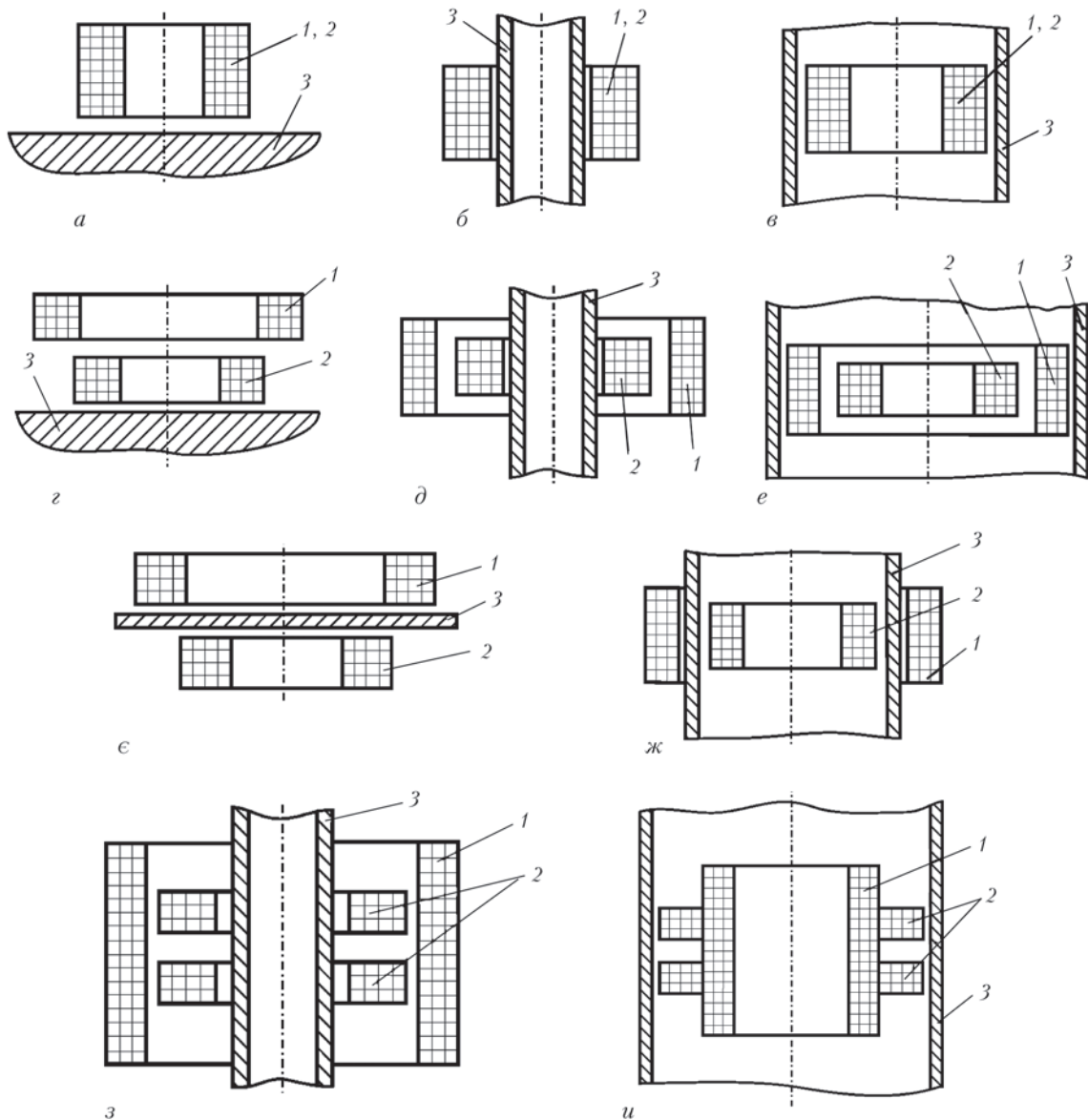


Рис. 2. Схематичне зображення конструкцій основних типів ВСП: параметричні (а-в); трансформаторні (г-и); абсолютні (а-ж); диференційні (з, у); накладні (а, з); прохідні зовнішні (б, д, з); прохідні внутрішні (в, е, у); відбитого поля (а-е, з, у); прохідного поля (екранні) (е, ж); 1 – обмотка збудження; 2 – вимірювальна обмотка; 3 – об'єкт контролю

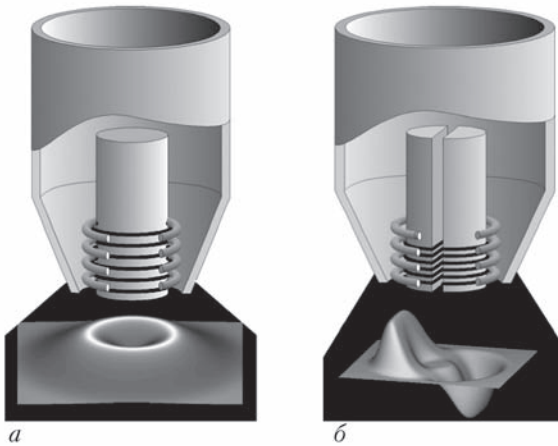


Рис. 3. Накладні ВСП абсолютного (а) і диференційного (б) типу і відповідні просторові розподіли чутливості

Залежно від взаємного розташування ВСП відносно ОК їх традиційно поділяють на накладні (рис. 2, а, з), прохідні (рис. 2, б, в, д, е, з, и) та комбіновані [1–13]. У свою чергу трансформаторні накладні ВСП можуть бути відбитого поля (рис. 1), в яких усі обмотки розташовані по один бік ОК, і прохідного поля (екранні), в яких обмотка збудження і вимірювальна обмотки розташовані по різні боки ОК. Така назва краще відображує фізичну суть відповідних ВСП. Накладні ВСП містять одну або декілька обмоток, які взаємодіють з обмеженою ділянкою поверхні ОК, і є найбільш універсальними і розповсюдженими. Їх здебільш використовують для контролю плоских поверхонь та поверхонь з великим радіусом кривизни. Нагадаємо, що детальна класифікація накладних ВСП розглядалась раніше [13, 14]. Прохідні ВСП використовують для контролю лінійно-видовжених об'єктів (прутки, дріт, труби тощо) і поділяють на зовнішні (рис. 2, б, д, з) і внутрішні (рис. 2, в, е, и). Зовнішні ВСП охоплюють ОК ззовні, а внутрішні проходять усередині ОК. Комбіновані ВСП є комбінацією накладних та прохідних і використовуються рідко.

Залежно від способу з'єднання обмоток і, відповідно, способу перетворення параметрів ОК в параметри сигналу слід розрізняти абсолютні (рис. 2, а–ж), диференційні (рис. 2, з, и) і подвійно-диференційні ВСП. Вихідний сигнал абсолютного ВСП залежить від абсолютного значення параметрів ОК, а диференційного – від різниці цих параметрів на двох ділянках ОК. На рис. 3 зображено найпростіші накладні ВСП абсолютного (а) і диференційного (б) типу, а також просторовий розподіл їх чутливості до локального дефекту [9, 10]. ВСП подвійного диференціювання у відомих загальних класифікаціях не були присутні, так як в роботах [13, 14] вони були введені тільки для накладних ВСП. Раніше накладні цього типу називалися мультидиференційними. Але цей термін не відповідав європейському стандарту з термінології, в якому було введено терміни «подвійно-

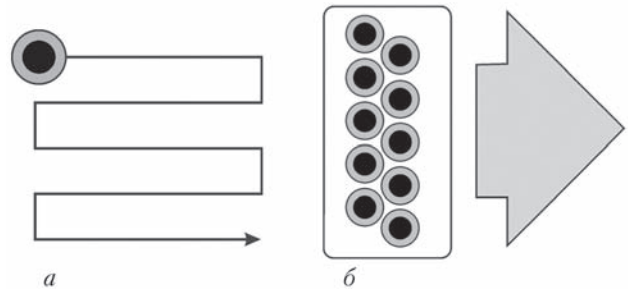


Рис. 4. Процедури вихрострумове контролю за механічного (а) і комбінованого (електронного і механічного) сканування багатоелементним ВСП (б)

диференційний перетворювач» (double differential probe) і «подвійно-диференційне вимірювання» (double differential measurement) [15].

Подвійно-диференційне перетворення сигналів ВСП більше притаманне для ВСП прохідного типу [16–18]. Для накладних ВСП подвійно-диференційні перетворення, які розглядалися детально в роботі [14], є не настільки очевидні.

Сканування і збирання інформації може бути реалізовано шляхом традиційної процедури механічного сканування поверхні ОК, яка для накладних ВСП найчастіше здійснюється шляхом зигзагоподібного пересування ВСП по контрольованій поверхні (рис. 4, а). Новим перспективним напрямком розвитку технологій вихрострумове контролю є використання багатоелементних ВСП (array eddy current probe) з електронним підключенням елементів до дефектоскопу [19–24]. Враховуючи перспективи багатоелементних ВСП розроблено відповідний стандарт, який знаходиться на стадії затвердження [24]. При використанні багатоелементних ВСП може бути реалізоване комбіноване сканування поверхні ОК, коли електронним способом шляхом мультиплексування багатоелементних ВСП збирається інформація в одному напрямку, а сканування усієї поверхні ОК здійснюється механічним переміщенням у перпендикулярному напрямку (велика стрілка на рис. 4, б). Розташування окремих обмоток багатоелементного ВСП у 2 ряди на рис. 4, б виконано для усунення «мертвих» зон. Такий спосіб збирання інформації з поверхні ОК є наразі найбільш використовуваним. Можливе і повне виключення механічного сканування поверхні, коли уся контрольована ділянка поверхні ОК може бути заповнена обмотками багатоелементного ВСП.

Недоліком чисто механічного способу сканування поверхні ОК є низька продуктивність контролю, а також низька його достовірність за ручного контролю або необхідність використання спеціального сканера під час механізованого контролю. Використання багатоелементних ВСП значно підвищує продуктивність контролю. Але вартість таких ВСП і багатоканальних дефек-



Рис. 5. Багатоелементний ВСП фірми Olympus NDT

тоскопів, споряджених керованим мультиплексорним блоком, є набагато вищою, ніж вартість одноканалних дефектоскопів. В якості прикладу можна назвати прилад OmniScan MX фірми Olympus NDT, який підтримує роботу з багатоелементним ВСП (рис. 5), кількість елементів в якому може досягати 32-х (а при використанні зовнішнього мультиплексору багатоелементний ВСП може складатися із 64 елементів). Ще більше вражають прилади ECTANE 2 канадської фірми EDDYFI, окремі модифікації якого можуть мати до 256 елементів в одному багатоелементному ВСП. Ця фірма випускає також гнучкі багатоелементні ВСП, які легко адаптуються для контролю об'єктів з різною кривизною поверхні (рис. 6).

Прохідні внутрішні ВСП трансформаторного типу на рис. 2, *e*, *и* можна назвати перетворювачами ближнього поля на відміну від внутрішніх ВСП дальнього поля, які переважно і найефективніше використовують для виявлення дефектів труб теплообмінників із феромагнітних сплавів (рис. 7) [25, 26]. В цій технології використовують найчастіше одну ОЗ 1 і одну або дві ВО 2, яка (які) виконані коаксіальними відносно контрольованої труби 3. При цьому ВО розташовані на відстані, що дорівнює приблизно 2...3 діаметри труби. Крім того, використовують достатньо низькі робочі частоти, щоб зменшити загасання вихрових струмів. В таких ВСП розділяють первинне пряме 4 і непряме 5 вторинне електромагнітні поля (показано умовно стрілками на рис. 7). На відстані більше двох діаметрів від ОЗ пряме електромагнітне поле у ВСП дальнього поля різко зменшується, в той час як непряме розповсюджується далі. Метод дальнього



Рис. 6. Багатоелементний гнучкий ВСП фірми EDDYFI

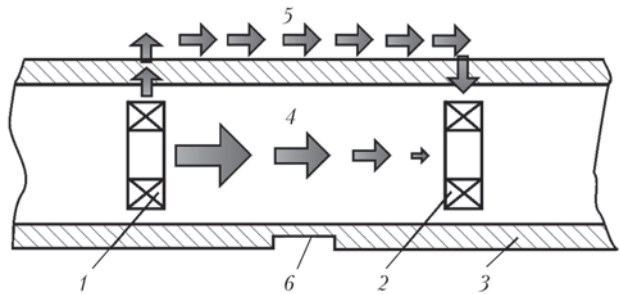


Рис. 7. ВСП дальнього поля: 1 – ОЗ; 2 – ВО; 3 – контрольована труба; 4, 5 – пряме і непряме електромагнітні поля; 6 – пошкодження труби

поля базується на використанні непрямого 5 електромагнітного поля, що виходить назовні труби, тобто досягає ВО двічі проходячи через стінку труби. Вважається, що на певній віддалі від ОЗ вплив цієї складової стає суттєвим, ніж електромагнітне поле прямої взаємодії, яке використовується в звичайних прохідних ВСП. Під час проходження електромагнітного поля через стінку труби воно змінюється за амплітудою і фазою залежно від локальної товщини стінки, що може бути використано для оцінки глибини і протяжності корозійних пошкоджень під час інтерпретації результатів контролю. Для таких ВСП вплив точності їх центрування відносно контрольованої труби є не таким суттєвим порівняно зі звичайними внутрішніми прохідними ВСП. Технології контролю за методом дальнього поля забезпечують приблизно однакову чутливість до дефектів на внутрішній і зовнішній поверхні труби.

Таким чином, розглянуто конструкції основних типів ВСП, що входять до нової загальної класифікації.

Список літератури

1. Беда П. И., Выборнов Б. И., Глазков Ю. А. и др. (1976) *Не разрушающий контроль металлов и изделий: Справочник*. Самойлович Г. С. (ред.). Москва, Машиностроение.
2. Дорофеев А. Л., Никитин А. И., Рубин А. Л. (1978) *Индукционная толщинометрия*. Москва, Энергия.
3. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. (1980) *Электромагнитная дефектоскопия*. Москва, Машиностроение.
4. Герасимов В. Г., Останин Ю. А., Покровский А. Д. и др. (1978) *Не разрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами*. Москва, Энергия.
5. Герасимов В. Г., Клюев В. В., Шатерников В. Е. (1983) *Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий*. Москва, Энергоатомиздат.
6. Соболев В. С., Шкарлет Ю. М. (1967) *Накладные и экранные датчики*. Новосибирск, Наука.
7. Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Сухоруков В. В. (1992) *Не разрушающий контроль*. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практик. пособие; В. В. Сухоруков (ред.). Москва, Высшая школа.
8. Дякин В. В., Сандовский В. А. (1981) *Теория и расчет накладных вихревых преобразователей*. Москва, Наука.
9. (2001) *Механіка руйнування і міцність матеріалів*. Довідн. посібник. Т 5. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика*. Назарчук З. Т. (ред.). Львів, ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України.
10. Осташ О. П., Федірко В. М., Учанін В. М. та ін. (2007) *Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник*. В. В. Панасюк (ред.). Т. 9. *Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій*. Львів, Сполом.

11. Libby H. L. (1971) *Introduction to Electromagnetic Nondestructive Test Methods*. New-York etc, Wiley – Interscience.
12. Меркулов А. И. (1992) О подобии конструкций параметрических накладных электромагнитных преобразователей. *Приборы и системы управления*, **8**, 20–23.
13. Учанин В. Н. (2010) Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации (Обзор). *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 24–29.
14. Учанин В. М. (2013) *Вихрострумів накладні перетворювачі подвійного диференціювання*. Львів, Споллом.
15. (1998) Европейский стандарт EN 1330-5:1998 *Non-destructive testing – Terminology. Part 5. Terms used in Eddy Current testing*. Technical committee CEN/TC 138.
16. Булгаков В. Ф., Жуков В. К. (1981) *Проходное вихретоковое устройство*. А. с. 853518 (СССР). G01N27/96.
17. Винокуров Б. Б., Мизин В. Г. (1981) *Проходной вихретоковый преобразователь*. А. с. 868551 (СССР). G01N27/96.
18. Винокуров Б. Б., Мизин В. Г. (1983) *Проходной вихретоковый преобразователь*. А. с. 1040403 (СССР). G01N27/90.
19. Mook G., Michel F., Simonin J. (2008) Electromagnetic imaging using probe arrays, *17th World Conf. on Non-destructive Testing, paper 380, Shanghai*, 2008 (www.ndt.net).
20. Hardy F., Desmaures de St-A., Samson R. (2002) *Eddy current probe with multi-use coils and compact configuration*. USA, Pat. № 6344739. G01N27/90.
21. Decitre J.-M., Premel D., Mangenet G. et al. (2006) Flexible EC Array Probe for the Inspection of Complex Parts developed within the European VERDICT Project, *9th Europ. Conf. on NDT, Berlin*, 2006, paper Tu.4.4.3.
22. Bureau J.-F., Ward R.C., Julien A. (2012) Application of Eddy Current Array Technology to Surface Inspection *18th World Conference on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa*.
23. Gramz. M., Stepinski T. (1994) Eddy Current Imaging array sensors and flaw reconstruction. *Research in Nondestructive Evaluation*, **5**, 157–174.
24. (2015) Draft International Standard ISO/DIS 20339:2015(E). *Non-destructive testing. Equipment for eddy current examination: Array probes characteristics and verification*. European Committee for Standardization.
25. Schmidt T. R. (1984) The remote field eddy current inspection technique. *Materials Evaluation*, **2**, 225–230.
26. Mackintosh D. D., Atherton D. L., Sullivan S. P. (1993) Remote-field eddy current signal analysis in small-bore ferromagnetic tubes. *Ibid.*, **4**, 492–495.
10. Ostash, O.P., Fedirko, V.M., Uchanin, V.M. et al. (2007) *Fracture mechanics and strength of materials: Refer. book. Vol. 9: Strength and fatigue life of aviation materials and structural elements*. Ed. by V.V. Panasyuk. Lviv, Spolom [in Ukrainian].
11. Libby, H.L. (1971) *Introduction to electromagnetic nondestructive test methods*. New-York, Wiley – Interscience.
12. Merkulov, A.I. (1992) On design similarity of parametric put-on electromagnetic transducers. *Pribory i Sistemy Upravleniya*, **8**, 20-23 [in Russian].
13. Uchanin, V.N. (2010) Eddy current overlay transducers: expanded classification, comparative analysis and characteristic examples of realization (Review). *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 24-29 [in Russian].
14. Uchanin, V.M. (2013) *Eddy current put-on double differentiation transducers*. Lviv, Spolom [in Ukrainian].
15. (1998) EN 1330-5: 1998: *Non-destructive testing. Terminology. Pt 5: Terms used in eddy current testing. Technical Committee CEN/TC 138*.
16. Bulgakov, V.F., Zhukov, V.K. (1981) *Through-type eddy current device*. USSR author's cert. 853518, Int. Cl. G01N27/96 [in Russian].
17. Vinokurov, B.B., Mizin, V.G. (1981) *Through-type eddy current transducer*. USSR author's cert. 868551, Int. Cl. G01N27/96 [in Russian].
18. Vinokurov, B.B., Mizin, V.G. (1983) *Through-type eddy current transducer*. USSR author's cert. 1040403, Int. Cl. G01N27/90 [in Russian].
19. Mook, G., Michel, F., Simonin, J. (2008) *Electromagnetic imaging using probe arrays*. In: *Proc. of 17th World Conf. on Non-Destructive Testing Shanghai, 2008*, paper 380. (www.ndt.net).
20. Hardy, F., Desmaures de St.-A., Samson, R. (2002) *Eddy current probe with multiuse coils and compact configuration*. Pat. 6344739, USA, Int. Cl. G01N27/90.
21. Decitre, J.-M., Premel, D., Mangenet, G. et al. (2006) *Flexible EC array probe for the inspection of complex parts developed within the European VERDICT Project*. In: *Proc. of 9th Europ. Conf. on NDT, Berlin, 2006*, Paper TU.4.4.3.
22. Bureau, J.-F., Ward, R.C., Julien, A. (2012) *Application of eddy current array technology to surface inspection*. In: *Proc. of 18th World Conf. on Nondestructive Testing (16-20 April 2012, Durban, South Africa)*.
23. Gramz, M., Stepinski, T. (1994) *Eddy current imaging array sensors and flaw reconstruction*. *Research in Nondestructive Evaluation*, **5**, 157-174.
24. (2015) Draft International Standard ISO/DIS 20339:2015(E): *Non-destructive testing. Equipment for eddy current examination: Array probes characteristics and verification*. European Committee for Standardization.
25. Schmidt T.R. (1984) *The remote field eddy current inspection technique*. *Materials Evaluation*, **2**, 225-230.
26. Mackintosh, D.D., Atherton, D.L., Sullivan, S.P. (1993) *Remote-field eddy current signal analysis in small-bore ferromagnetic tubes*. *Ibid.*, **4**, 492-495.

References

1. Beda, P.I., Vybornov, B.I., Glazkov, Yu.A. et al. (1976) *Nondestructive testing of metals and products: Refer. book*. Ed. by G.S. Samoylovich. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Dorofeev, A.L., Nikitin, A.I., Rubin, A.L. (1978) *Induction thickness measurement*. Moscow, Energiya [in Russian].
3. Dorofeev, A.L., Kazamanov, Yu.G. (1980) *Electromagnetic flaw detection*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. Gerasimov V.G., Ostanin, Yu.A., Pokrovskii, A.A. et al. (1978) *Nondestructive testing of product quality by electromagnetic methods*. Moscow, Energiya [in Russian].
5. Gerasimov, V.G., Klyuev, V.V., Shaternikov, V.E. (1983) *Methods and instruments for electromagnetic control of industrial products*. Moscow, Energoatomizdat [in Russian].
6. Sobolev, V.S., Shkarlet, Yu.M. (1967) *Put-on and screen sensors*. Novosibirsk, Nauka [in Russian].
7. Gerasimov, V.G., Pokrovskii, A.D., Sukhorukov, V.V. (1992) *Nondestructive testing. In: 5 books. Book 3: Electromagnetic testing: Manual*. Ed. by V.V. Sukhorukov. Moscow, Vyschaya Shkola [in Russian].
8. Dyakin, V.V., Sandovskii, V.A. (1981) *Theory and calculation of put-on eddy current transducers*. Moscow, Nauka [in Russian].
9. (2001) *Fracture mechanics and strength of materials: Refer. book. Vol. 5: Nondestructive testing and technical diagnostics*. Ed. by Z.T. Nazarchuk. Lviv, G.V. Karpenka PMI [in Ukrainian].

В. Н. УЧАНИН

Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины. 79060, г. Львов, ул. Научная, 5. E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua; vuchanin@gmail.com

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Предложен проект расширенной общей классификации конструкций вихретокового преобразователя. В предложенную классификацию, в частности, впервые введены многоэлементные вихретоковые преобразователи, которые реализуют технологию электронного или комбинированного сканирования поверхности объекта контроля, а также вихретоковые преобразователи дальнего поля. Даны примеры построения конструкций вихретоковых преобразователей, в частности,

многэлементных вихретоковых преобразователей и вихретоковых преобразователей дальнего поля. Библиогр. 26, рис. 7.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, вихретоковые преобразователи, конструкция, классификация

PROPOSITIONS ON IMPROVEMENT OF THE CLASSIFICATION OF EDDY CURRENT TRANSDUCERS

V.M.UCHANIN

G.V.Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, 5, Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine. E-mail: uchanin@ipm.lviv; uchanin@gmail.com

A draft of an extended general classification of eddy current designs was proposed. In particular, multielement eddy current transducers, which realize the technology of electronic or combined scanning of the surface of the object of control, as well as the far-field eddy current transducers were added to the proposed classification for the first time. Examples of the design of eddy current transducer structures are given, in particular, of multielement eddy current transducers and far-field eddy current transducers. 26 References, 7 Figures.

Keywords: eddy current testing, eddy current transducers, design, classification

Надійшла до редакції
16.05.2018

НОВІ КНИГИ



Божидарнік В.В., Скальський В.Р., Матвійв Ю.Я. Діагностування руйнування скловолоконних композитів методом акустичної емісії. – К.: Наукова думка, 2013. – 256 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Станкевич О.М. Акустико-емісійне діагностування типів макроруйнування конструкційних матеріалів. – К.: Наукова думка, 2014. – 264 с.



Скальський В.Р., Божидарнік В.В., Долінська І.Я. Основи механіки руйнування для зварювальників: навч. посіб. – Луцьк, 2014. – 356 с.



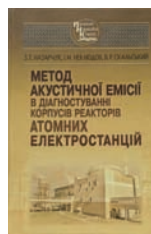
Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Почапський Є.П. Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів. – К.: Наукова думка, 2014. – 304 с.



Скальський В.Р., Ярема Р.Я. Методи розрахунку ресурсу, відновлення і відбракування кілець буксового підшипника локомотивів. – Львів, 2015. – 288 с.



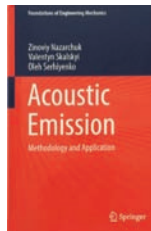
Метод акустичної емісії в дослідженні стоматологічних полімерів / В.Р. Скальський, В.Ф. Макеев, О.М. Станкевич, О.С. Кирманов, Б.П. Клим. – Львів: Кварт, 2015. – 150 с.



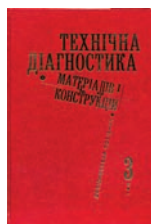
Назарчук З.Т., Неклюдов І.М., Скальський В.Р. Метод акустичної емісії в діагностуванні корпусів реакторів атомних електростанцій. – К.: наукова думка, 2016. – 306 с.



Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми т. Том 1. Експлуатаційна деградація конструкційних матеріалів / Є.І. Крижанівський, О.П. Остап, Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, П.В. Ясній; за заг. ред. З.Т. Назарчука. – Львів: Простір-М, 2016. – 360 с.



Nazarchuk Z., Skalskyi V., Serhiyenko O. Acoustic emission. Methodology and Application. – Springer International Publishing AG, 2017. – XIV, 283 p.



Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: у 8-ми томах. Том 3. Моніторинг напруженого стану елементів конструкцій з використанням електромагнітних хвиль оптичного діапазону. / Л. М. Лобанов, Л. І. Муравський, В. А. Півторак, Т.І. Вороняк. – Львів: «Простір-М», 2017. – 340 с.



В. В. Кныш, С. А. Соловей. Повышение долговечности сварных соединений с усталостными поврежденными. – Киев, КПИ им. Игоря Сикорского, 2017. – 315 с. Твердый переплет, 150×225 мм.

Подписано к печати 24.05.2018. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24. Печать ООО «ДИА». 03022, г. Киев-22, ул. Васильковская, 45.