

ПОРІВНЯННЯ ЧУТЛИВОСТІ МОДЕЛЕЙ ЗВИЧАЙНИХ ТА ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЄМНІСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В РАМКАХ ЗАДАЧ ЦИВІЛЬНОГО РОЗМІНУВАННЯ

С.А. Овчарук, В.Г. Баженов

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37. E-mail: sa.ovcharuk@gmail.com

У статті розглянуто сучасний стан проблеми цивільного розмінування вибухових зарядів та пристроїв з мінімальним або відсутнім вмістом металів, суть та потенційні можливості застосування електроємнісного методу за даним напрямком, переваги використання диференціального електроємнісного перетворювача, представлено та проаналізовано результати комп'ютерного моделювання порівняння чутливості ряду диференціальних та звичайних електроємнісних перетворювачів до наявності нерівномірності у вигляді моделі міни в сканованій ділянці простору. Бібліогр. 20, рис. 11.

Ключові слова: електроємнісний метод, диференціальний електроємнісний перетворювач, комп'ютерне моделювання, цивільне розмінування

На сьогодні гостро стоїть питання швидкого, безпечного та ефективного розмінування території від наслідків бойових дій. Найбільш розповсюдженим інструментом для виявлення наземних мін є металодетектор. Однак моделі багатьох мін вироблені з мінімальним або нульовим використанням металу, що ускладнює або унеможлиблює їх детектування цим методом. Як альтернатива металодетекторам у таких випадках часто використовується технологія з використанням георадару (англ. GPR – Ground Penetrating Radar). Ця технологія полягає у випромінюванні електромагнітних хвиль високої частоти (одиниці гігагерц) та реєстрації відбитого сигналу. Даний метод дозволяє отримати результати сканування відносно високої точності, однак, його недоліками є складність інтерпретації отриманих результатів, особливо результатів сканування приповерхневого шару ґрунту без попередньої підготовки, значний вплив вологості та структури ґрунту на ефективність використання технології, та висока вартість [1, 2].

Найбільш ефективними засобами розмінування вважаються комбіновані системи, що працюють з використанням обох технологій – металодетектора та GPR [1, 2]. Такі системи здатні сканувати ґрунт за допомогою цих двох методів як одночасно, так і окремо. Однак ті обмеження, що накладаються на використання GPR для знаходження вибухових пристроїв з відсутнім та малим вмістом металів, знижують достовірність сканування та підвищують ризики, пов'язані зі здоров'ям та життям людей, тому знаходження допоміжних або альтернативних методів для цієї задачі є актуальним. Альтернативним або допоміжним до технології GPR для цих задач може стати електроємнісний метод.

© С.А. Овчарук, В.Г. Баженов, 2019

Електроємнісний метод. Суть електроємнісного методу полягає у реєстрації зміни просторового розподілу електричного поля, що проходить крізь об'єкт контролю (ОК). Ці зміни визначаються шляхом вимірювання електричного заряду, що індукується цим полем на вимірювальній електроді перетворювача. Наявність нерівномірності в матеріалі ОК у вигляді певного об'єму (тіла) з діелектричною проникністю, що відрізняється від діелектричної проникності матеріалу ОК, викличуть зміни в просторовому розподілі поля, що, в свою чергу, спричинить зміну величини індукованого заряду на електроді перетворювача. Оскільки частота зміни поля мала (зазвичай до одиниць мегагерц), магнітною складовою поля можна знехтувати, тому таке поле називають квазі-електростатичним [3, 4].

Типовий електроємнісний перетворювач для одностороннього сканування має вигляд розгорнутого плоского конденсатора, між пластинами якого знаходиться ОК (рис. 1). Зміна сумарної діелектричної проникності середовища між пластинками цього конденсатора за рахунок наявності нерівномірності в зоні сканування може також розглядатися як зміна електричної ємності конденсатора, тому метод називають електроємнісним (або просто ємнісним).

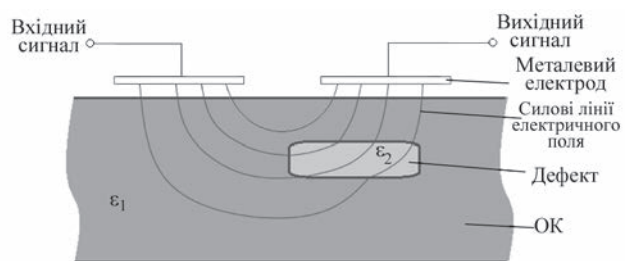


Рис. 1. Схематичне зображення процесу вимірювання електроємнісним методом з використанням планарного (плоского) перетворювача

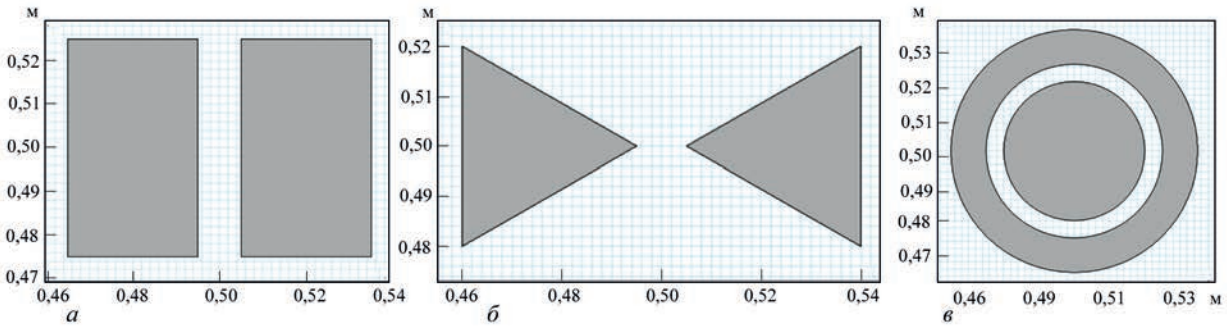


Рис. 2. Форми та розміри звичайних перетворювачів, що використовувались на першому етапі моделювань (опис *a–в* див. у тексті)

Таким чином, вимірюючи величину зміни індукованого електричного заряду на вимірювальній обкладці такого перетворювача можливо досліджувати ОК на наявність нерівномірностей (дефектів) у його структурі, однак, лише якщо ці рівномірності характеризуються діелектричною проникністю, відмінною від матеріалу ОК. Для задач розмінування ОК – є ґрунт, а дефектами (нерівномірностями) є вибухові пристрої (міни).

Переваги використання диференціального методу. На сьогодні існує ряд проведених досліджень та патентів, що стосуються підвищення ефективності електроємнісного методу сканування з використанням плоского перетворювача та його застосування у різних сферах діяльності людини [3–18]. Однак в дослідженнях, що стосуються підвищення ефективності застосування методу в рамках цивільного розмінування [17, 18], не приділялась увага перспективі використання диференціальної схеми вимірювання та перетворювача відповідної конструкції, та вплив такого підходу на результати сканування.

Вимірювання електричного заряду при реалізації електроємнісного методу потребує використання підсилювачів електричного заряду, які, як відомо, повинні мати дуже високий вхідний опір, а це, в свою чергу, значно знижує їх завадостійкість від електричної складової електромагнітних завад. Основною перевагою використання диференціального підходу є можливість значно знизити вплив цих завад на результати вимірювання за рахунок їх взаємокомпенсації на етапі диференціального складання сигналів з двох вимірювальних

електродів, що, в свою чергу, зменшить вірогідність виникнення хибних результатів сканування.

Математична модель. З метою оцінки величини зміни первинного параметру перетворювача – електричної ємності між електродами, та порівняння реакції до наявності нерівномірності в зоні чутливості перетворювачів різних форм, було проведено ряд комп’ютерних моделювань та отримано результати, що показують різницю між результатами сканування звичайним та диференціальним перетворювачем.

Моделювання проводились у два етапи – на першому етапі моделювання проводились для звичайних перетворювачів, зображених на рис. 2. На другому етапі – для диференціальних перетворювачів, зображених на рис. 3.

Форми перетворювачів були обрані на основі результатів проведених досліджень [3–7].

Тіло, що підлягає визначенню, є циліндр діаметром 90 мм та висотою 30 мм. Розміри та форма були підібрані у відповідність до розмірів реальних об’єктів – протипіхотних мін з мінімальним вмістом металу (наприклад, РМА-3 – 111×40 мм, VS-МК2 – 90×32 мм [19]). Програмне забезпечення, що використовувалось для моделювання – Comsol Multiphysics (COMSOL Co., Ltd.), модуль AC/DC.

Моделювання проводились для глибин залягання циліндра 1 та 2 см, відносна діелектрична стала середовища (ґрунту), в якому знаходиться циліндр, прийнято як $\epsilon = 10$ (що відповідає ґрунту з об’ємним коефіцієнтом вологості близько 20% [20]), матеріалу тіла самого циліндра $\epsilon = 2$ (що

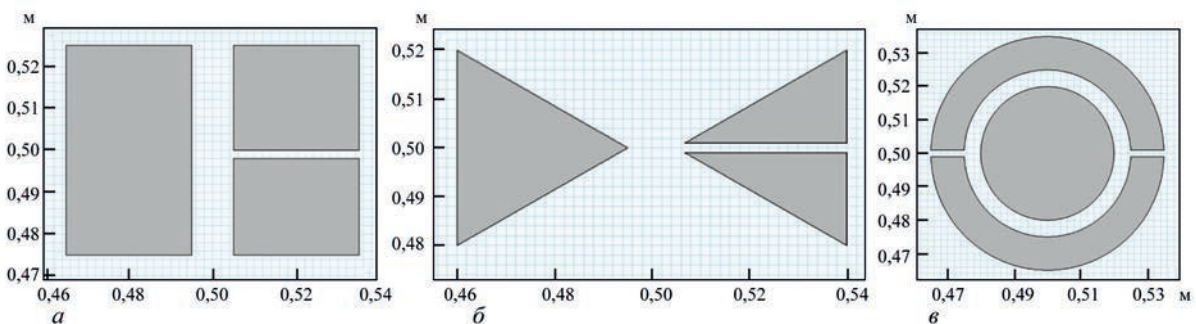


Рис. 3. Форми та розміри диференціальних перетворювачів, що використовувались на другому етапі моделювань (опис *a–в* див. у тексті)

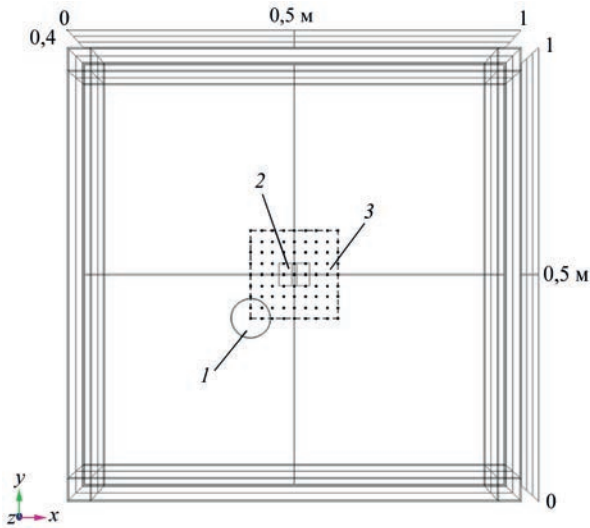


Рис. 4. Геометричні розміри та вигляд моделі (1 – циліндр; 2 – перетворювач; 3 – область сканування)

відповідає приблизному значенню відносної діелектричної сталої розповсюджених пластиків, з яких виготовляється корпус протипіхотних мін з мінімальним вмістом металу). Для середовища в якому розташовано перетворювач (повітря) $\epsilon = 1$. Відстань від перетворювача до поверхні ґрунту у першому етапі становить 1 см, у другому – 0,5 см. Загальні фізичні розміри моделі складають $1 \times 1 \times 0,6$ м. Геометрія моделі зображена на рис. 4. Шар матеріалу, що відповідає шару ґрун-

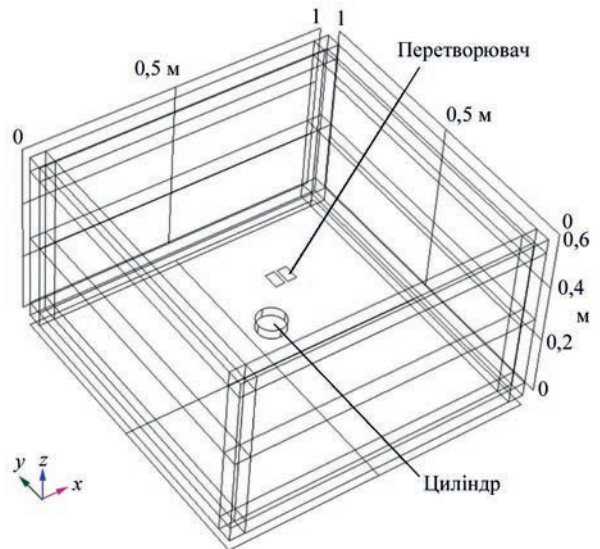


Рис. 5. Область сканування, кожна точка відповідає положенню центра циліндра для кожного із проведених обчислень ємності відповідного перетворювача

ту, має висоту 0,3 м, шар матеріалу, що відповідає шару повітря, також має висоту 0,3 м. Перетворювач розміщено по центру моделі (по осям x та y), координата y положення перетворювача 0,31 м для першого етапу моделювання, та 0,305 м – для другого. Математична модель розраховувалась методом скінченних елементів (тетраєдрів), мінімальний розмір елемента 0,0005 м, максимальний – 0,035 м.

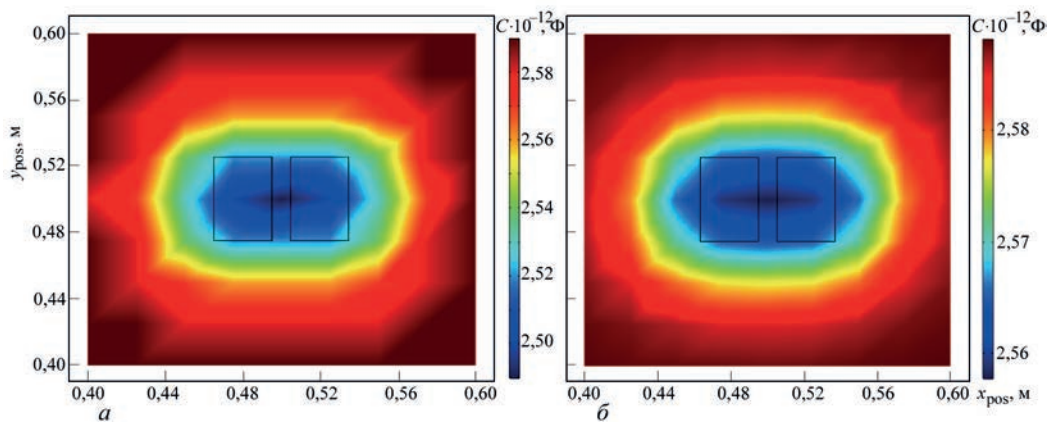


Рис. 6. Результати моделювання для перетворювача, зображеного на рис. 2, а: а – глибина залягання циліндра – 1 см; б – 2

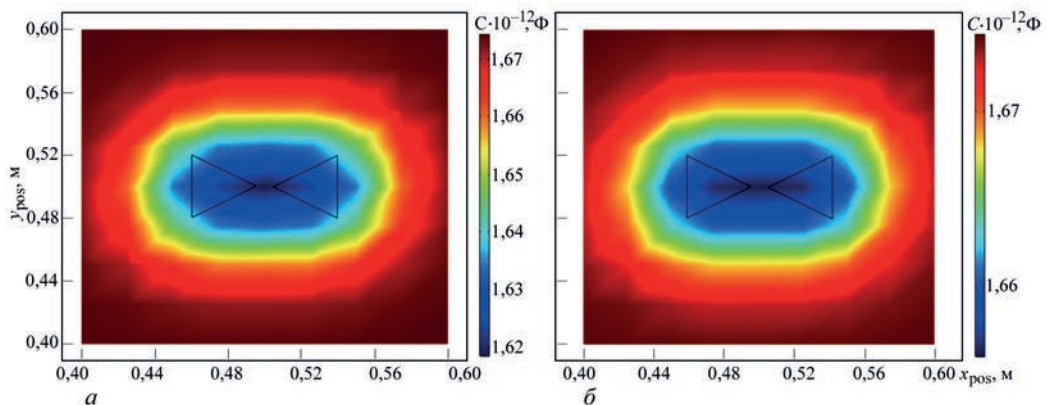


Рис. 7. Результати моделювання для перетворювача, зображеного на рис. 2, б: а – глибина залягання циліндра – 1 см; б – 2

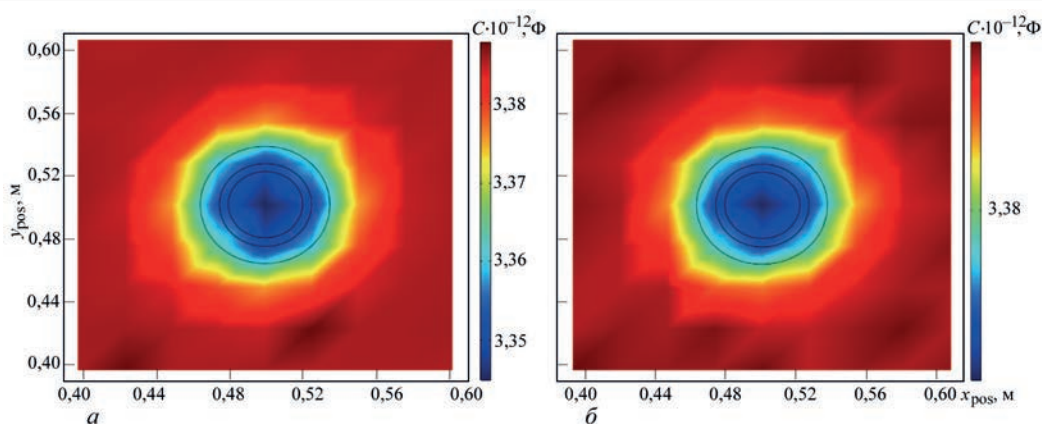


Рис. 8. Результати моделювання для перетворювача, зображеного на рис. 2, *а* – глибина залягання циліндра – 1 см; *б* – 2

Сканування відбувалось з покровою зміною положення центра циліндра відносно перетворювача. Таким чином, одне сканування складається з почергових розрахунків моделі, кількість яких відповідає кількості кроків зміни положення центра циліндра. Мінімальна кількість кроків в проведених моделюваннях складає 55, максимальна – 143. При положенні центра циліндра у площині x - y на відстані близько 10 см від центру розташування перетворювачів практично ніякого впливу на величину ємності перетворювачів не спостерігалось, тому область сканування була обмежена до розмірів 20×20 см (рис. 5).

Для диференціальних перетворювачів кожному положенню центра циліндра (кожній точці на рис. 5) відповідає диференційоване значення ємності. Тобто, для перетворювача на рис. 3, *а*, на кожному кроці зміни положення циліндра були розраховані ємності між головним електродом (зліва) та кожним із менших електродів, результат розраховувався як модуль різниці між цими двома значеннями ємностей. Аналогічно і для перетворювачів на рис. 3, *б*, *в*.

На зображеннях результатів моделювання (рис. 6–11) представлено кольорові графіки, де вісь абсцис (x_{pos} – « x position») відповідає поло-

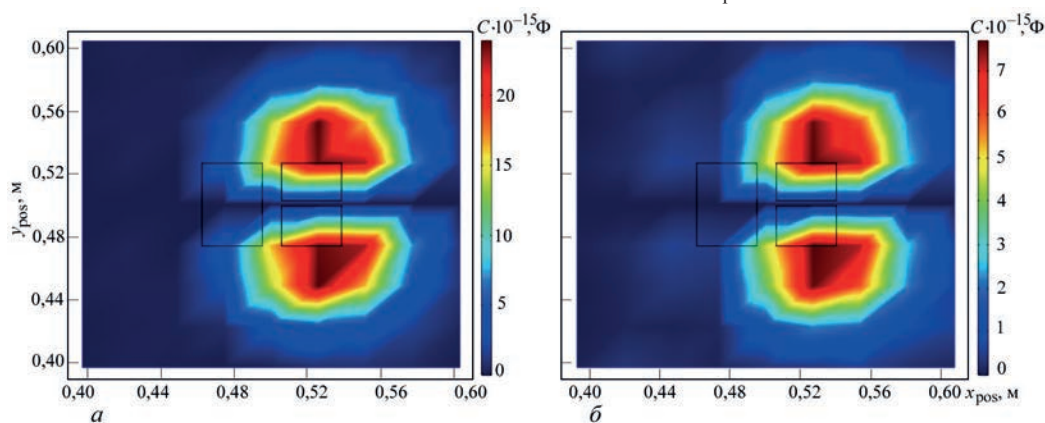


Рис. 9. Результати моделювання для диференціального перетворювача, зображеного на рис. 3, *а* – глибина залягання циліндра – 1 см; *б* – 2

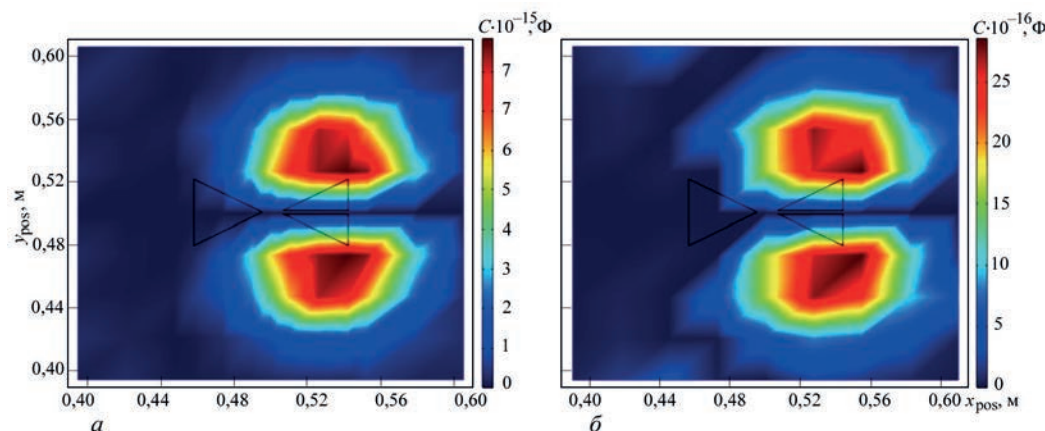


Рис. 10. Результати моделювання для диференціального перетворювача, зображеного на рис. 3, *б*: *а* – глибина залягання циліндра – 1 см; *б* – 2

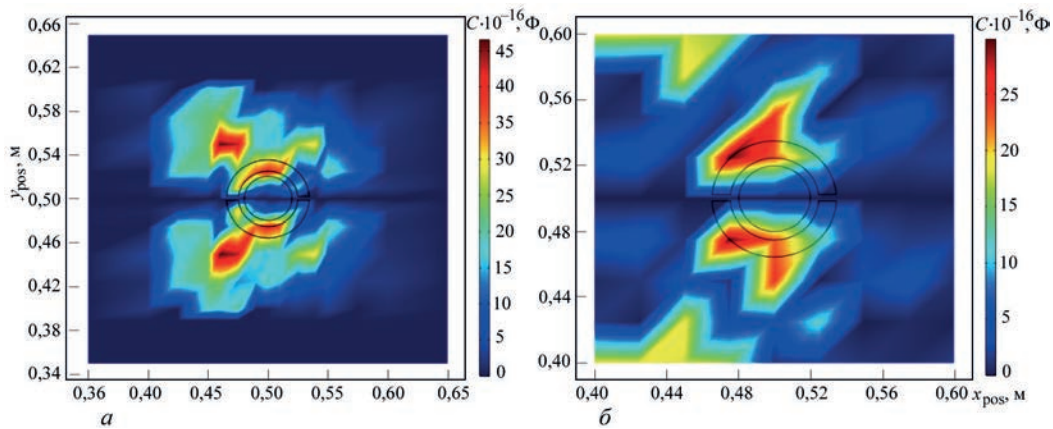


Рис. 11. Результати моделювання для диференціального перетворювача, зображеного на рис. 3, в: *a* – глибина залягання циліндра – 1 см; *б* – 2

женню центра циліндра по вісі *x* (рис. 4), вісь ординат (y_{pos} – «*y* position») відповідає положенню центра циліндра по вісі *y* (рис. 4), а відповідним кольором (згідно з кольоровою діаграмою справа від графіка) позначено величину ємності перетворювача для кожного із положень циліндра. Таким чином, рис. 6–11 практично є *C*-сканами чутливості перетворювачів до наявності нерівномірності (циліндра) в просторі під перетворювачем. Для кожного із наведених зображень було застосовано функцію згладжування для переходу від дискретного до неперервного формату зображення.

Результати моделювання. Зображення графіків етапу моделювань для звичайних перетворювачів, зображених на рис. 2, мають вигляд, представлений на рис. 6–8. За результатами цього етапу моделювань, максимальна відносна величина зміни ємності відповідає перетворювачу рис. 2, *a*: для глибини залягання циліндра 1 см становить 3,8 %, або 0,1 пФ (рис. 6, *a*), для глибини 2 см – 1,2 %, або 0,03 пФ (рис. 6, *б*). Найменшу зміну величини ємності при наявності циліндра показав перетворювач, зображений на рис. 2, *в* (графіки на рис. 8). Перетворювач з трикутною формою електродів показав проміжний результат між двома іншими перетворювачами (рис. 7).

Результати моделювання для диференціальних перетворювачів на рис. 3, зображено на рис. 9–11. Як видно із зображень, найкращі результати показує перетворювач рис. 3, *a*: для глибини залягання циліндра 1 см максимальна величина диференційованого значення електричної ємності складає 0,024 пФ (рис. 9, *a*), для глибини 2 см – 0,007 пФ (рис. 9, *б*), однак, у порівнянні із результатами першого етапу моделювання для звичайних перетворювачів ці величини є практично на порядок меншими. Найгірші результати на цьому етапі – у перетворювача на рис. 3, *в* – як видно з рис. 11, максимальна величина зміни диференційованого значення електричної ємності практично співрозмірна із величиною похиб-

ки, тому зображення графіків для цього перетворювача не дають точної картини, що нагадувала б певну форму зон чутливості перетворювача, що відповідали формі його електродів.

Висновки

Проведені моделювання дали змогу оцінити різницю між результатами сканування звичайними та диференціальними електроємнісними перетворювачами, та величину зміни ємності перетворювачів з трьома різними формами електродів.

Результати показують, що найбільш ефективними є перетворювачі з прямокутною формою електродів (рис. 2, *a*; 3, *a*), при наявності циліндра у зоні чутливості зміна величини ємності для таких перетворювачів була найвищою. Найменш ефективними виявились перетворювачі з округлою формою електродів (рис. 2, *в*; 3, *в*), особливо диференціальний перетворювач.

При порівнянні результатів моделювання для диференціальних перетворювачів спостерігається горизонтальна полоса нульових значень ємності при $y_{\text{pos}} = 0,5$ м для усіх значень x_{pos} . Ця полоса відповідає лінії симетричності диференціальних електродів перетворювачів, тому є зрозумілим, що при положенні циліндра рівно посередині між цими електродами сумарне різницеве значення ємності між ними дорівнюватиме нулю.

Абсолютні значення зміни ємності для диференціальних перетворювачів практично на порядок нижчі, ніж для звичайних. Це означає, що побудова електричної схеми вимірювання для таких перетворювачів буде ускладнена реалізацією ефективних засобів компенсації паразитної ємності, високими вимогами до заводостійкості елементів та вхідного імпедансу каскаду підсилення сигналу з вимірювальних електродів. Тому в наступних дослідженнях планується провести ряд моделювань з вивчення методів підвищення величини зміни ємності перетворювачів.

Враховуючи також те, що для електроємнісного методу використовуються відносно низькі частоти корисного сигналу, основними джерелами завад є завади від електричної мережі живлення. Тому застосування диференціального підходу має зміст в умовах підвищеної зашумленості середовища зазначеними електромагнітними завадами. Для зручності, зміну звичайного режиму вимірювання на диференціальний (і навпаки) без заміни перетворювача можливо забезпечити застосовуючи відповідну схему вимірювання, що здатна працювати в кожному із режимів для одного і того ж перетворювача з розділними вимірювальними електродами. Закриваючи електричний контакт між цими електродами, схема переходить у звичайний режим, розкриваючи – у диференціальний.

Наступними напрямками дослідження є оцінка впливу на величину ємності наявності ізоляційного шару перетворювача, його товщини та величини відносної діелектричної сталості матеріалу, впливу нерівномірності поверхні та вологості ґрунту. Також перспективним напрямком наступних досліджень є вивчення можливостей застосування комбінованого перетворювача, конструкція якого складається із матриці електродів різних розмірів та форм, що дасть змогу одночасного використання такого перетворювача у звичайному та диференціальному режимах, а також проведення сканування ділянки поверхні без необхідності переміщення перетворювача.

Список літератури/Reference

- Cardona, L., Jimenez, J., Vanegas, N. (2013) Landmine Detection Technologies to Face the Demining Problem in Antioquia. *Дина*, 81, 115–125.
- Tesfamariam G., Mali D. (2012) GPR Technologies for Landmine Detection. *International Journal of Computing Science and Communication Technologies*, 5, 1, 768–774.
- Diamond G.G., Hutchins D.A. (2006) A new capacitive imaging technique for NDT. *Proceedings of European Conference on NDT, Berlin, Germany*, pp. 1–8.
- Yin X., Hutchins D.A. (2010). Capacitive imaging technique for NDE. *Presented in the 37th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation (QNDE) conference, San Diego, US*, pp. 18–23.
- Liu, Z., Liu, H. (2017). Experimenting Capacitive Sensing Technique for Structural Integrity Assessment. *Industrial Technology (ICIT) IEEE International conference, At Toronto, ON, Canada*.
- Xiaohui Hu Wuqiang Yang (2010). Planar capacitive sensors – designs and applications. *Sensor Review*, 30, 1, 24–39.
- Ye, Z., Banasiak, R., Soleimani, M. (2013). Planar array 3D electrical capacitive tomography. *Insight*, 55(12), 675–680
- Баженов В.Г., Івіцька Д.К., Грузін С.В. (2013) Удосконалений електростатичний метод неруйнівного контролю. *Методи та прилади контролю якості*, 2(31), 26–28.
- Bazhenov, V.G., Ivitska, D.K., Gruzin, S.V. (2013) Improved electrostatic method of nondestructive testing. *Metody ta Prylady Kontrolyu Yakosti*, 2(31), 26–28 [in Ukrainian].
- Баженов В.Г., Івіцька Д.К., Овчарук С.А., Муненко В.Л. (2015) *Електростатичний амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю*. Україна Пат. на винахід 109357, МПК G 01 B 7/00, G 01 N 27/22. № 201404947.
- Bazhenov, V.G., Ivitska, D.K., Ovcharuk, S.A., Munenko, V.L. (2015) *Electrostatic amplitude-phase method of nondestructive testing*. Ukraine Pat. 109357, Int. Cl. G 01 B 7/00, G 01 N 27/22, No. 201404947 [in Ukrainian].
- Баженов В.Г., Івіцька Д.К., Овчарук С.А., Грузін С.В. (2016) *Електростатичний одноканальний амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю*. Україна Пат. на винахід 112917, МПК G 01 B 7/00, G 01 B 7/287, G 01 N 27/22. № a201502540.
- Bazhenov, V.G., Ivitska, D.K., Ovcharuk, S.A., Gruzin, S.V. (2016) *Electrostatic one-channel amplitude-phase method of nondestructive testing*. Ukraine Pat. 112917, Int. Cl. G 01 B 7/00, G 01 B 7/287, G 01 N 27/22, No. a201502540 [in Ukrainian].
- Баженов В.Г., Івіцька Д.К. (2016) Електростатичний амплітудно-фазовий метод неруйнівного контролю з підвищеною завадостійкістю. *Матеріали 8-ї Національної науково-технічної конференції та виставки «Неруйнівний контроль та технічна діагностика», Київ, 2016*.
- Bazhenov, V.G., Ivitska, D.K. (2016) Electrostatic amplitude-phase method of nondestructive testing with improved noise immunity. *In: Proc. of 8th National Sci.-Techn. Conf. and Exhibition on Nondestructive Testing and Techn. Diagnostics. Kyiv, 2016* [in Ukrainian].
- Ivitskiy I., Sivetskiy V., Bazhenov V., Ivitska D. (2017) Modeling the electrostatic control over depth of the introduction of intelligent sensors into a polymer composite material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 5(85), 4–9.
- Bazhenov V., Protasov A., Ivitskiy I., Ivitska D. (2017) Simulation of nanomodified polymers testing by the electric capacitive method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 5(88), 4–9.
- Баженов В.Г., Івицька Д.К. (2015) Первичные преобразователи для реализации электростатического метода неразрушающего контроля изделий. *Матеріали 8-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*. Київ, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». pp. 47–48.
- Bazhenov, V.G., Ivitska, D.K. (2015) Primary transducers for realization of electrostatic method of nondestructive testing of products. *In: Proc. of 8th Int. Sci.-Techn. Conf. on Instrument Engineering – 2015*, 47–48.
- Bazhenov V., Ivitska D., Ivitskiy I.I. (2017) Transducers for realization of the electrostatic method of non-destructive testing of functional polymers. *NDT DAYS 2017. Sozopol*, pp. 128–129.
- Баженов В.Г., Івіцька Д.К. (2017) Особливості реалізації електростатичного амплітудно-фазового способу неруйнівного контролю. *Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*. Київ, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».
- Bazhenov V., Ivitska D.K. (2017) Peculiarities of realization of electrostatic amplitude-phase method of nondestructive testing. *In: Proc. of 16th Int. Sci.-Techn. Conf. on Instrument Engineering: State of the Art and Perspectives. Kyiv, NTUU KPI* [in Ukrainian].
- Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (2016) Planar Array ECT Sensor Design Optimisation. *Materials of 8th World Congress on Industrial Process Tomography, At Iguassu Falls, Brazil*.
- Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (2017) Planar Array Capacitive Imaging Sensor Design Optimisation. *IEEE Sensors Journal*, 99, 1558–1748.
- (2002). Project Mimeva, Study of Generic Mine-Like Objects for R&D in Systems for Humanitarian Demining – Final Report. *Ispra*.
- Topp, G.C., Davis J.L., Annan A.P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16, 574–582.

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛЕЙ ОБЫЧНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В РАМКАХ ЗАДАЧ ГРАЖДАНСКОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ

С.А. Овчарук, В.Г. Баженов

НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». 03056, г. Киев, просп. Победы, 37. E-mail: sa.ovcharuk@gmail.com

В статье рассмотрено современное состояние проблемы гражданского разминирования взрывных зарядов и устройств с минимальным или отсутствующим содержанием металлов, суть и потенциальные возможности применения электроемкостного метода по данному направлению, преимущества использования дифференциального электроемкостного преобразователя, представлены и проанализированы результаты компьютерного моделирования сравнения чувствительности ряда дифференциальных и обычных электроемкостных преобразователей к наличию неравномерности в виде модели мины в сканированном участке пространства. Библиогр. 20, рис. 11.

Ключевые слова: электроемкостный метод, дифференциальный электроемкостный преобразователь, компьютерное моделирование, гражданское разминирование

COMPARISON OF THE SENSITIVITY OF MODELS OF CONVENTIONAL AND DIFFERENTIAL CAPACITIVE TRANSDUCERS WITHIN HUMANITARIAN DEMINING TASKS

S.A. Ovcharuk, V.G. Bazhenov

NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Prosp., 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: sa.ovcharuk@gmail.com

The paper deals with the state-of-the-art of the problem of humanitarian demining of explosive charges and devices with minimum or no metal content, the essence and potential applications of electric capacitance method in this field, advantages of application of differential capacitive transducers. Results of computer modeling of comparison of sensitivity of a number of differential and conventional capacitive transducers to availability of non-uniformity in the form of a model of a mine in the scanned space area are presented and analyzed. 20 Ref., 11 Fig.

Keywords: electric capacitance method, differential capacitive transducer, computer modeling, humanitarian demining

Надійшла до редакції
04.03.2019

ХVІІІ МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2019

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

19 - 22 листопада



ОРГАНІЗАТОР:

Міжнародний виставковий центр

Генеральний інформаційний партнер: Ексклюзивний медіа партнер:

ОБСЛУГОВУВАННЯ ДІЗЕЛІВНИКІВ

ЖУРНАЛ ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА

Технічний партнер:

RentMedia



Міжнародний виставковий центр
Україна, 02002, Київ
Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"

☎ (044) 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.mvc.ukr
www.tech-expo.com.ua