
РАДІОЕЛЕКТРОНІКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.372.061

ЧУТЛИВІСТЬ В ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНІЙ ТОМОГРАФІЇ

*Рибін О. І., д.т.н., професор; Гайдаєнко Є. В., аспірант;
Сушко І. О., аспірантка; Гаманенко О. І., магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

THE SENSITIVITY IN ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

*Rybin A., Doctor of Science (Technics), Professor; Gaidaenko E., Postgraduate Student; Sushko I., Postgraduate Student; Gamanenko A., Undergraduate Student
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

Вступ

Електроімпедансна томографія (ЕІТ), основні ідеї якої були сформульовані в роботах [1–4], останні роки продовжує свій розвиток як в області створення відповідних технічних засобів [5–8], так і в розв'язанні прямої (аналіз) [9–11] та зворотної (синтез, реконструкція) [12–15] задач. Як при створенні відповідної апаратури зчитування проєкцій (напруг на електродах по обводу контуру фантома), так і при розв'язанні прямої та зворотної задач велике значення має чутливість (відносне прирощення вимірюваних напруг) до змін провідності неоднорідності усередині фантома та можливість відтворення картини розподілення неоднорідності усередині фантома (чутливість методів реконструкції).

Постановка задачі

Для введення понять чутливості спочатку розглянемо властивості поля образу в електроімпедансній томографії.

1. Поле образу є неоднорідним, тобто відхилення напруг по обводу фантома залежать від розміщення неоднорідності (в центрі, між центром і краєм або на краю фантома).

2. Залежність відхилень напруг (по обводу фантома) за рахунок неоднорідності від змін її поверхневої провідності є нелінійною.

3. Траєкторії сигналу носія інформації (лінії рівної напруги або рівного струму усередині фантома) нелінійні навіть для рівномірного фантома (рис.1), не кажучи вже про розподілення ліній рівної напруги в фантомі з декількома неоднорідностями — рис.2).

4. Залежність відхилень напруг по обводу фантома від площі неоднорідності (при тій самій її поверхневій провідності) є також нелінійною.

5. Як і для будь-якої томографії, задача реконструкції за проєкціями є задачею некоректною (погано зумовленою), оскільки інтегральний характер проєкції «згладжує» відхилення параметру усередині фантома. Тобто «великі» відхилення досліджуваного параметру дають «малі» відхилення параметрів проєкції, і навпаки — малі випадкові відхилення параметрів проєкції можуть дати великі випадкові значення параметрів реконструйованого образу.

6. Задача реконструкції в електроімпедансній томографії є некоректною (задачею синтезу) в силу своєї нелінійності (нелінійна задача має, якщо має взагалі, множину розв'язків).

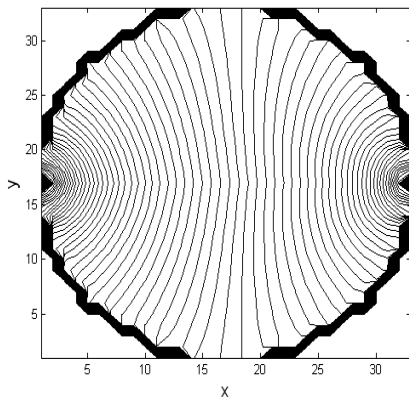


Рис.1. Лінії рівної напруги для однорідного фантома

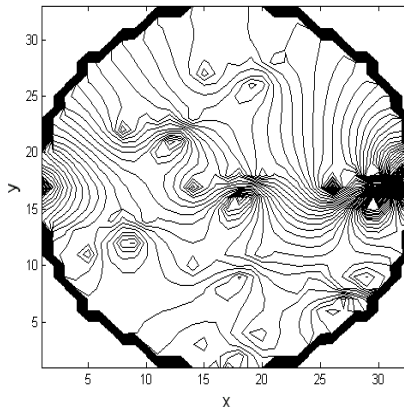


Рис.2. Лінії рівної напруги для фантома з декількома неоднорідностями

При розв'язанні прямої та зворотної задачі електроімпедансної томографії слід оцінити потенційні можливості вимірювань проєкцій та реконструкції образів (неоднорідностей) за проєкціями при наявності та відсутності адитивного шуму. Для проведення оцінок введемо поняття «чутливості», яке відрізняється від загальноприйнятого, оскільки задачі електроімпедансної томографії мають описані вище властивості, що принципово відрізняються від властивостей радіотехнічних кіл, для яких вони були введені.

Поняття чутливості в електроімпедансній томографії

Чутливість першого роду. Визначає потенційні можливості і вимоги до вимірювань при відсутності шуму (вимірювальних кіл, власних шумів досліджуваного об'єкту, похибок вимірювань). Для оцінок чутливості першого роду проводяться обчислення на ЕОМ рівномірного фантома з неоднорідностями: в центрі, між центром і краєм та на краю фантома.

Розміри неоднорідностей «велика», «середня» та «мала» визначено в статтях [8, 13] або надається в залежності від наявних засобів (чашок, склянок, циліндрів тощо).

Чутливість другого роду. Визначає можливості вимірювань приладом певної та достовірної різниці між проєкціями рівномірного (однорідного за

провідністю фантома) та нерівномірного фантомів. При наявності автоматичного перемикачання слід провести 10...30 вимірювань, які у подальшому усереднити (знайти математичні очікування, дисперсії результатів вимірювань на кожному електроді). При вимірюваннях однорідного та неоднорідного фантома провести вимірювання для всіх положень джерела струму, щоб оцінити сам процес вимірювань (симетрія, асиметрія).

Чутливість третього роду. Визначає можливості реконструкції образу за обчисленими проекціями фантомів з неоднорідностями. При цьому знову визначаються як розміри, так і «інтенсивності» неоднорідностей, при яких отримано зображення цієї неоднорідності. Визначаються розташування, площі та інтенсивності, при яких можлива надійна реконструкція.

Чутливість четвертого роду. Визначає можливості реконструкції образу за результатами вимірювань (миттєвим, тобто при одному вимірюванні кожної проекції, та усередненим, тобто після усереднення 10...30 вимірювань кожної проекції).

Експеримент

Для проведення експериментальних досліджень було обрано резервуар циліндричної форми (з об'ємом 9 л, діаметром 30 см) з 16-ма електродами. Резервуар повністю заповнюється 5% розчином солі *NaCl* з питомою провідністю розчину при $t = 18^\circ\text{C}$ 0,0672 См/см (відповідно питомий опір 14,881 Ом·см).

На рис.3 наведено схему вимірювань.

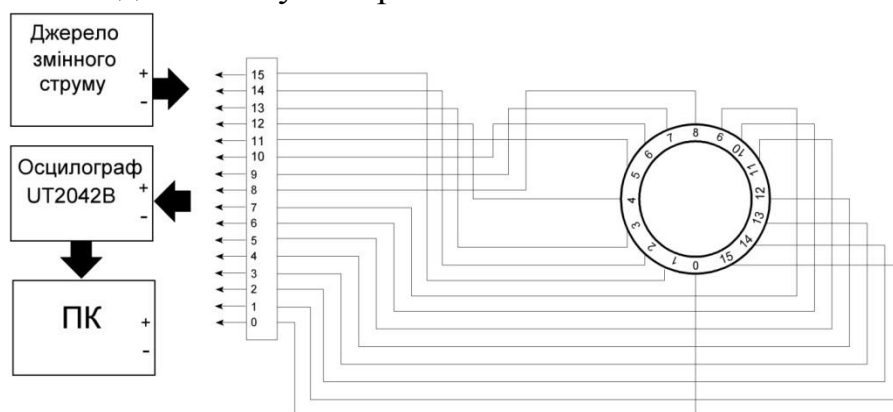


Рис.3. Схема вимірювань напруг по обводу фантома в ЕІТ

Були проведені вимірювання для неоднорідностей, розміщених в центрі фантома, з діаметром 5 см (2,78% загальної площі) та опором рівним нескінченності; 9,58 см (10,19% від загальної площі) та опором рівним нескінченності та 5,75 см (3,67% від загальної площі) та опором рівним нулю.

За виміряними напругами на усіх електродах (16 позицій підключення джерела струму) проведено усереднення. Для однорідного фантому та фантомів та з неоднорідностями по центру фантома (рис.4) математичні очі-

кування вузлових напруг на електродах наведено в табл.1 – табл. 4. При вимірюваннях підключення джерела струму змінювалося (підключення до вузлів 0-8; 1-9;...15-7) при цьому змінювався і номер загального вузла (0, 1, 2, ...15). Вузлові напруги вимірювалися відносно поточного загального вузла. Для неоднорідностей, розташованих між центром та краєм фантома (рис. 5), також були розраховані значення вузлових напруг.

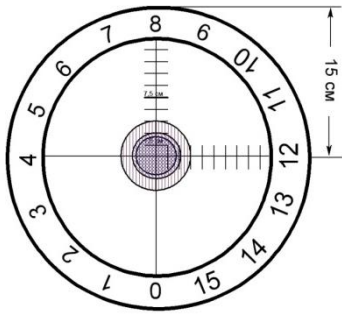


Рис.4. Фантом з неоднорідністю по центру

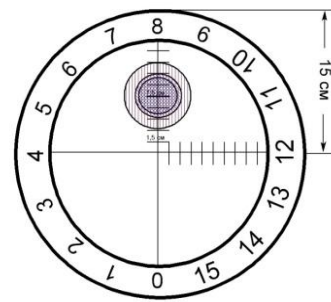


Рис.5. Фантом з неоднорідністю між краєм та центром

Таблиця 1. Однорідний фантом

№вузла	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	23,0941	25,614	27,371	28,372	29,874	31,285	33,802
№вузла	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	57,515	33,84	31,380	29,758	28,502	27,160	25,579	23,111

Таблиця 2. «Маленька» неоднорідність (в центрі) з великим опором

№ вузла	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,488	24,918	26,508	27,887	29,199	30,769	33,316
№ вузла	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	56,284	33,256	30,851	29,206	27,874	26,543	24,929	22,494

Таблиця 3. «Велика» неоднорідність (в центрі) з великим опором

№ вузла	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,406	24,914	26,814	28,605	30,378	32,294	32,884
№ вузла	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	58,3013	32,780	32,276	30,395	28,611	25,359	24,885	22,212

Таблиця 4. «Маленька» неоднорідність (в центрі) з малим опором

№ вузла	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,597	24,977	26,383	27,534	28,697	30,074	32,443
№ вузла	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	55,169	32,432	30,072	28,676	27,497	26,391	24,98	22,593

Усереднення дає можливість оцінити середньоквадратичне відхилення вимірювань, яке становить $\sigma \sim 1,8...2$.

Результати обчислень чутливостей

Для оцінки та порівняння чутливості першого – четвертого роду було створено рівномірний фантом з провідністю $\sigma = 1$ (рис. 6) [8, 10], який складається з 776 квадратних скінченних елементів (розбитих на 14 зон) та фантоми з нерівномірностями в центрі з $\sigma = 0,01; 0,1; 0,5; 0,9$ (рис. 7).

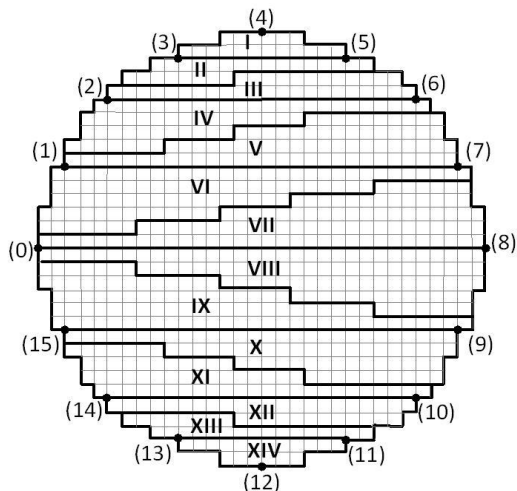


Рис.6. Рівномірний фантом

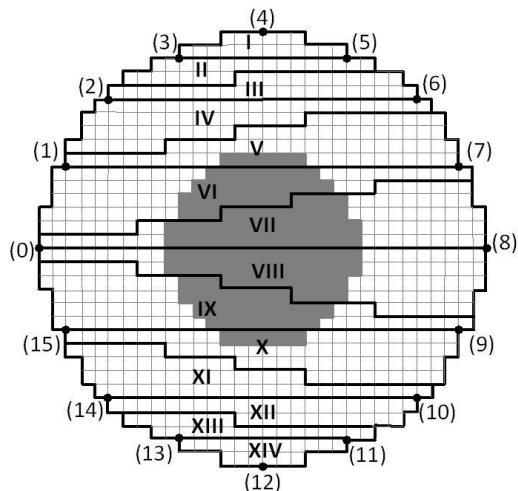


Рис.7. Фантом з неоднорідністю по центру

Для рівномірного фантома обчислено розподіл вузлових напруг. Далі (для порівняння чутливостей першого та другого роду) виміряні для рівномірного фантома напруги (табл. 1) використовувалися для отримання картини внутрішнього розподілення опорів (з використанням алгоритмів регуляризації [12–14]). При цьому початковим наближенням вважалися обчислені (рис.6) значення вузлових напруг. Чутливості третього роду оцінювалися в роботах [13–15].

В результаті застосування ітераційної процедури (з використанням методу регуляризації за А.Н. Тихоновим) обчислено поверхневі провідності 14 зон (рис. 6, рис. 7) для кожної позиції джерела струму (між вузлами 0-8; 1-9; ...15-7). Отримані підсумовані результати наведено на рис. 8а,б.

Аналогічні результати отримано для інших провідностей $\tilde{\sigma}$ неоднорідної області. В даному випадку отримано результати, що дають інформацію тільки про геометричне розташування неоднорідностей усередині фантома та про характер такої неоднорідності (неоднорідність має опір, більший за опір «фону»).

Зі зменшенням розмірів неоднорідностей при тих самих $\tilde{\sigma}$ (кількість скінченних елементів неоднорідності 24) при $\tilde{\sigma} = 0,9$ чутливість така мала, що при реконструкції неоднорідність не спостерігається.

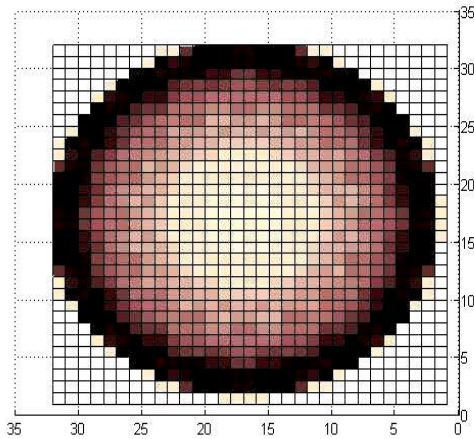


Рис.8а. Розподіл провідності всередині фантома після однієї ітерації з неоднорідністю $\sigma = 0,01$ по центру

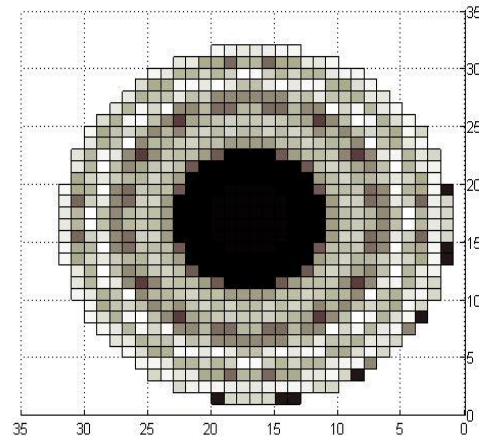


Рис.8б. Розподіл опору всередині фантома після трьох ітерацій з неоднорідністю $\sigma = 0,2$ по центру

Аналогічно, (при оцінці **чутливості четвертого роду**) для неоднорідностей в центрі фантома з $\sigma = \infty$ $\sigma = 0$ (табл. 2 – табл. 4) отримано результати, наведені на рис. 9 ... рис. 10.

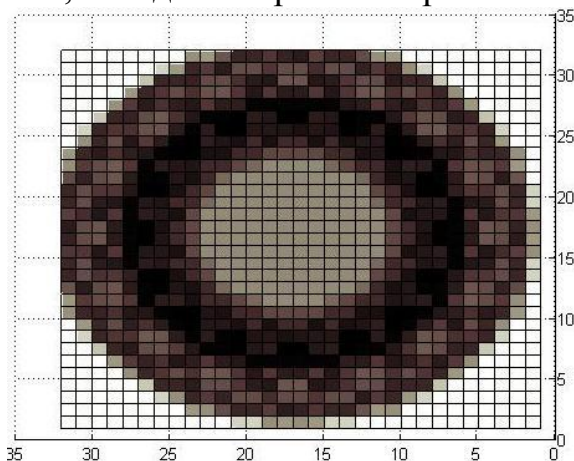


Рис.9а. Розподіл провідності всередині фантома з неоднорідністю ($d = 5$ см) $\sigma = 0$ в центрі за результатами експериментальних вимірювань

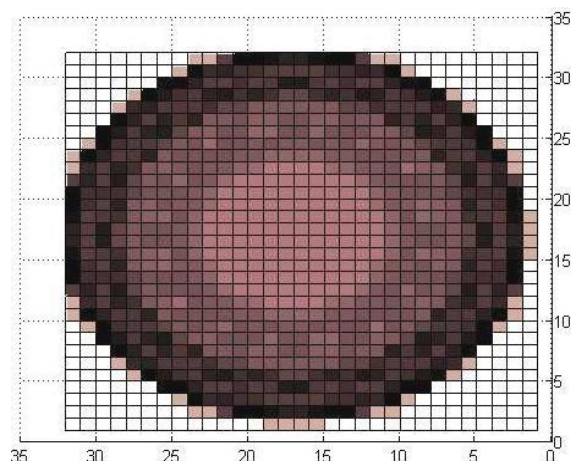


Рис.9б. Розподіл провідності всередині фантома з неоднорідністю ($d = 5$ см) $\sigma = 0,001$ в центрі за результатами комп'ютерного моделювання

У випадку неоднорідності ($d = 9,58$ см) з провідністю $\sigma = 0$ (в результаті ітераційної процедури за усередненими вимірними напругами по обводу контура) отримано розподілення рис. 10,а. При математичному моделюванні вимірювань на ЕОМ для тих самих геометричних розмірів фантома, що й при вимірюваннях в ітераційній процедурі отримано розподіл провідностей рис. 10,б.

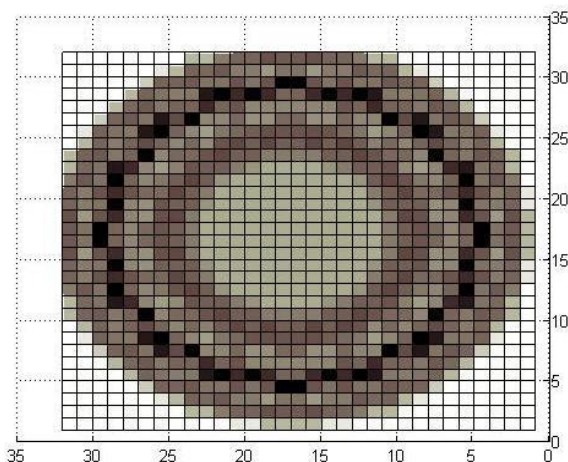


Рис.10а. Розподіл провідності всередині фантома з неоднорідністю ($d = 9,58$ см) $\sigma = 0$ в центрі за результатами експериментальних вимірювань

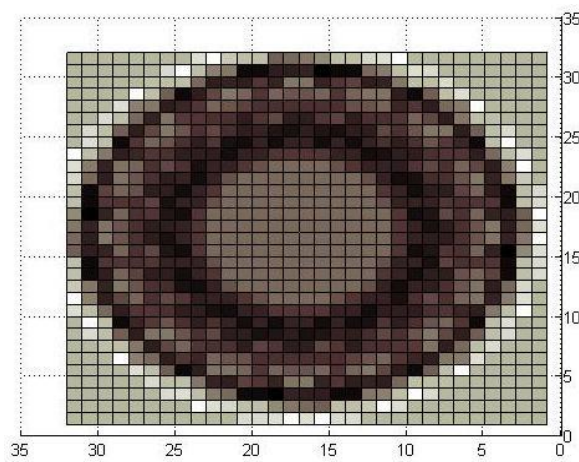


Рис.10б. Розподіл провідності всередині фантома з неоднорідністю ($d = 9,58$ см) $\sigma = 0,001$ в центрі за результатами комп'ютерного моделювання

Порівнюючи розраховані розподіли (за математичною моделлю та за вимірюваннями на фізичному об'єкті), слід відзначити задовільне співпадіння цих розподілів у сенсі геометричного розташування та характеру неоднорідностей. При цьому розрахунки в обох випадках дають приблизно ті самі геометричні розміри, як для більшої, так і для меншої за розмірами неоднорідностями. Це пов'язане з роздільною здатністю розв'язання задачі реконструкції, яка визначається формою та розмірами зон (рис.6 , рис.7 – зони VII та VIII).

Нарешті, комп'ютерне моделювання (як імітація вимірювань, так і розв'язання зворотної задачі) для випадку, коли неоднорідність в центрі має діаметр 5,75 см та провідність $\sigma = \infty$ (для моделювання використовувалося значення $\sigma = 1000$) дає досить ненадійні та невиразні результати, а візуалізація за вимірними значеннями не дає результату зовсім.

Висновки

1. Чутливість напруги по обводу контуру фантома до змін поверхневої провідності неоднорідності усередині фантома «мала» та залежить як від розмірів та характеру неоднорідності (провідність неоднорідності більша чи менша за провідність «фону»), так і від розташування цієї неоднорідності.
2. Неоднорідності з провідністю, більшою, ніж провідність «фону», мають меншу чутливість, ніж з провідністю, меншою за провідність «фону».
3. Порівняння результатів моделювання на ЕОМ та результатів натурних вимірювань (у подальшому теж оброблених на ЕОМ– обчислення математичних очікувань напруг, розв'язання зворотної задачі) показує задовільне їх співпадіння.

4. Подальші дослідження слід зосередити на підвищенні надійності натурних вимірювань та на аналізі впливу форми зон провідності на отримуваний результат.

Література

1. Brown B. H. Electrical Impedance Tomography / B. H. Brown, D. C. Barber // *Clinical Physics and Physiological Measurement*. — 1992. — vol.13. — Suppl. A, 207p.

2. Yorkey T. J. A comparison of impedance tomographic reconstruction algorithms / T. J. Yorkey, J. G. Webster // *Clin. Phys. Physiol. Meas.* — 1987. — vol. 8. — Suppl. A. — 55 p. vol. 8, Suppl. A, 55 p. [\[CrossRef\]](#)

3. Физика визуализации изображений в медицине: в 2-х томах. Пер. с англ. / Под ред. С. Уэбба. — М.: Мир, 1991.

4. Isaacson D. Electrical impedance tomography / M. Cheney, D. Isaacson, J.C. Newell // *SIAM. Rev.* — 1999. — Vol. 41, No. 1. — P. 85—101. [\[CrossRef\]](#)

5. Электроимпедансная томография / Я. С. Пеккер, К. С. Бразовский, В. Ю. Усов, М. П. Плотников, О. С. Уманский. — Томск: ООО «Издательство научно-технической литературы», 2004. — 190с.

6. Tucker A. S. Biocompatible, High Precision, Wideband, Improved Howland Current Source With Lead-Lag Compensation / A. S. Tucker., M. F. Robert., R. J. Sadleir. // *Biomedical Circuits and Systems Journal*. — 2012. — No 99. — P. 1—8. [\[CrossRef\]](#)

7. Brown B. H. Electrical impedance tomography (EIT): a review / B. H. Brown // *Journal of Medical Engineering & Technology*. — 2003. — №27. — P. 97—108. [\[CrossRef\]](#)

8. Сушко І. О. Потенційна чутливість імпедансної томографії / І. О. Сушко, Є. В. Гайдаєнко, О. А. Якубенко // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. — 2012. — № 50. — С. 92—104. [\[Publ.\]](#)

9. Дорожовець М. Математичні засади прямої задачі томографії провідності / М. Дорожовець, А. Федорчук, І. Петровська // *Вісник Державного університету «Львівська політехніка». Автоматика вимірювання та керування*. — 1998. — №324. — С. 43—51.

10. Рыбина И. А. Решение прямой задачи импедансной томографии методами теории цепей / И. А. Рыбина // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. — 2010. — № 43. — С. 4—13. [\[Publ.\]](#)

11. Сушко І. О. Алгоритм розв'язання прямої задачі імпедансної томографії методом модифікацій / І. О. Сушко // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. — 2011. — № 47. — С. 165—175. [\[Publ.\]](#)

12. Сушко И. А. Сравнение классического метода решения обратной задачи импедансной томографии с методом «зон» проводимости / И. А. Сушко, А. И. Рыбин // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. — 2012. — № 49. — С. 166—177. [\[Publ.\]](#)

13. Сушко И. А. Визуализация распределения поверхностных проводимостей томографического сечения методом зон проводимости / И. А. Сушко // *Радиоэлектроника*. — 2013. — Том. 56, №7. — С.60—68. (Изв. вузов). [\[Publ.\]](#)

14. Sushko I. Features of solving the Electrical Impedance Tomography inverse problem by zones conductivities method/ I. Sushko, O. Rybin // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. — 2012. — № 51. — С. 106—114. [\[Publ.\]](#)

15. Сушко І. О. Особливості використання методу регуляризації при розв'язанні зворотної задачі імпедансної томографії методом зон провідності / І. О. Сушко, О. І. Рибін // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. — 2013. — №5. — С. 11—17.

References

1. Brown B. H., Barber D. C. (1992) Electrical Impedance Tomography. *Clinical Physics and Physiological Measurement*, vol. 13, Suppl. A, 207 p.
2. Yorkey T. J., Webster J. G. (1987) A comparison of impedance tomographic reconstruction algorithms. *Clin. Phys. Physiol. Meas.*, vol. 8, Suppl. A, 55 p. doi: [10.1088/0143-0815/8/4A/007](https://doi.org/10.1088/0143-0815/8/4A/007)
3. Webb S. eds. (1988) *The Physics of Medical Imaging*. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, 600 p. (Russ ed. : Webb S. eds. *Fizika vizualizatsii izobrazheniy v meditsine*. Moscow, Mir Publ., 1991)
4. Isaacson D., Cheney M., Newell J.C. (1999) Electrical impedance tomography. *SIAM Rev.*, Vol. 41, No. 1, pp.85–101. doi: [10.1137/S0036144598333613](https://doi.org/10.1137/S0036144598333613)
5. Pekker Ya. S., Brazovskiy K. S., Usov V. Yu., Plotnikov M. P., Umanskii O. S. (2004) *Elektroimpedansnaia tomografiya* [Electrical impedance tomography]. Tomsk, Izdatelstvo nauchno-tehnicheskoi literatury, 190 p.
6. Tucker A. S., Robert M. F., Sadleir R. J. (2012) Biocompatible, High Precision, Wideband, Improved Howland Current Source With Lead-Lag Compensation. *Biomedical Circuits and Systems Journal*, No 99, pp. 1-8. doi: [10.1109/TBCAS.2012.2199114](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2012.2199114)
7. Brown B. H. (2003) Electrical impedance tomography (EIT): a review. *Journal of Medical Engineering & Technology*. No 27, pp. 97-108. doi: [10.1080/0309190021000059687](https://doi.org/10.1080/0309190021000059687)
8. Sushko I. O., Gaydayenko E. V., Yakubenko A. A. (2012) Potentsiina chutlyvist impedansnoi tomografii. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.* No 50, pp. 92–104. Available at: <http://radap.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/237> (In Ukrainian)
9. Dorozhovets M., Fedorchuk A., Petrovska I. (1998) Matematychni zasady priamoi zadachi tomografii providnosti. *Visnyk Derzhavnogo universytetu "Lvivska politekhnika". Avtomatika vymiruvannia ta keruvannya*, No 324, pp. 43-51.
10. Rybina I. O. (2010) Solution of direct task of impedance tomography by the methods of theory of circuits. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.* No 43. pp. 4-13. Available at: <http://radap.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/340> (In Russian)
11. Sushko I. O. (2011) Algorithm for solving the Electrical Impedance Tomography forward problem by the modification method. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, No 47, pp. 165-175. Available at: <http://radap.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/133> (In Ukrainian)
12. Sushko I.O., Rybin A.I. (2012) Comparison of classical and conductivity zones methods for solving EIT inverse problem. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, No 49, pp. 166-177. Available at: <http://radap.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/90> (In Russian)
13. Sushko I. (2013) Visualization of surface conductivity distributions of tomography cross-section using conductivity zones method. *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 53, No 7, pp. 60-68. doi: [10.3103/S0735272713070078](https://doi.org/10.3103/S0735272713070078)
14. Sushko I.O., Rybin A.I. (2012) Features of solving the Electrical Impedance Tomography inverse problem by zones conductivities method. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, No 51. pp. 106-114. Available at: <http://radap.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/451>
15. Sushko I.O., Rybin O.I. (2013) Osoblyvosti vykorystannia metodu reguliaryzatsii pry rozv'iazanni zvorotnoi zadachi impedansnoi tomografii metodom zon providnosti [Features

of the regularization method in solving the inverse problem of impedance tomography by zones of conductivity]. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, No 5, pp. 11-17.

Рибін О. І., Гайдаєнко Є. В., Сушко І. О., Гаманенко О. І. Чутливість в електроім-педансній томографії. Введено поняття чутливості в електроімпедансній томографії (першого...четвертого роду). Проведено експериментальні дослідження по вимірюванню напруг по обводу контуру на створеному макеті (для рівномірного циліндричної судини з розчином солі та з розміщеними в судині неоднорідностями). Методом зон провідностей (з використанням регуляризації за А.Н. Тихоновим) розв'язано зворотні задачі електроімпедансної томографії для фантома, імітованого на ЕОМ (чутливість третього роду) та за результатами натурних вимірювань (чутливість четвертого роду). Чутливість (першого...четвертого роду) до збільшення провідності графоелементів усередині фантома виявилася значно меншою, ніж чутливість до збільшення опору. Наведено результати оброблення вимірюваних напруг та результати реконструкції за проєкціями, отриманими за математичною моделлю та за результатами натурних вимірювань. Показане задовільне співпадіння отриманих результатів реконструкції між собою та з математичним і натурним фантомами.

Ключові слова: фантом, електроімпедансна томографія, чутливість першого...четвертого роду, метод зон провідності, зворотна задача, регуляризація, приращення, точність вимірювань, неоднорідність.

Рыбин А. И., Гайдаенко Е. В., Сушко И. А., Гаманенко А.И. Чувствительность в электроимпедансной томографии. Введено понятие чувствительности в электроимпедансной томографии (первого...четвертого рода). Проведено экспериментальные исследования по измерению напряжений по обводу контура на созданном макете (для равномерного цилиндрического сосуда с раствором соли и с размещенными в сосуде неоднородностями). Методом зон проводимости (с использованием регуляризации по А.Н. Тихонову) решено обратные задачи электроимпедансной томографии для фантома, имитированного на ЭВМ (чувствительность третьего рода) и по результатам натурных измерений (чувствительность четвертого рода). Чувствительность (первого...четвертого рода) к увеличению проводимости графоэлементов в середине фантома оказалась значительно меньшей, чем чувствительность к увеличению сопротивления. Приведено результаты обработки измеренных напряжений и результаты реконструкции по проекциям, полученным по математической модели и по результатам натурных измерений. Показано удовлетворительное совпадение полученных результатов реконструкции между собою, а также с математическим и натурным фантомами.

Ключевые слова: фантом, чувствительность первого...четвертого рода, метод зон проводимости, электроимпедансная томография, обратная задача, регуляризация, приращение, точность измерений, неоднородность.

Rybin A., Gaidaenko E., Sushko I., Gamanenko A. The sensitivity in Electrical Impedance Tomography.

Introduction. The concept of sensitivity in Electrical Impedance Tomography is introduced (first – fourth type). The experimental researches measuring the voltages on the phantom outline are conducted on the created layout (for uniform cylindrical vessel with brine and placed inhomogeneities in a vessel).

The main part. The inverse problems are solved for simulated on PC phantom (the third type sensitivity) and from measured results (the fourth type sensitivity) by conductivity zones

method using regularization by A. Tykhonov. The sensitivity to conductivity increasing of elements inside the phantom is significantly less than the sensitivity to resistance increasing. The results of measured voltages processing and the results of projection reconstruction (obtained from mathematical model and from measured results) are described.

Conclusions. The satisfactory agreements of reconstruction results between themselves and with mathematical and measured phantoms are shown.

***Keywords:** phantom, the first – fourth type sensitivity, conductivity zones method, Electrical Impedance Tomography, inverse problem, regularization, increment, accuracy of measurement, inhomogeneity.*