

ОЦІНКА ЧУТЛИВОСТІ В ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНІЙ ТОМОГРАФІЇ МЕТОДОМ НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ¹

***І. О. Сушко, аспірантка; О. І. Рибін, д.т.н., професор;
І. О. Чекерис, магістрантка***
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна,
sushko@ros.kpi.ua*

THE ASSESSMENT OF SENSITIVITY IN ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY BY NORMAL TRANSFORMATION METHOD

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

Вступ

Розв'язання зворотної задачі імпедансної томографії [1–10] пов'язане з громіздкими обчисленнями в ітераційній процедурі. Запропоновані авторами методи структуризації фантома [6–10] дозволяють певним чином зменшити трудомісткість візуалізації внутрішнього розподілу провідностей (опорів) усередині фантома по вимірним напругам (проекціям) по обводу контуру. Тим не менше, запропонований метод візуалізації потребує подальшого вдосконалення. Це вдосконалення пов'язане з чутливістю методу візуалізації до вимірних (або обчислених для математичної моделі) прирощень напруг (по обводу контуру фантома з шуканою неоднорідністю) у порівнянні до напруг однорідного фантома.

Як показано у роботі [8], при зменшенні розміру неоднорідного графоелементу в результаті обчислень візуалізація такої неоднорідності не відбувається (навіть при «великих» відхиленнях провідності такої неоднорідності від провідності фону). В той самий час обчислення провідностей зон в ітераційній процедурі може бути достатньо громіздким [10]. При цьому провідності зон можуть залишатися майже незмінними. Тобто для таких прирощень напруг по обводу фантома можна було би пропустити громіздку ітераційну процедуру (для даної позиції джерела струму). Подібна ситуація виникає при зміні масштабу вимірюваних та обчислюваних напруг (поверхневих провідностей) для однорідного фантома). Тому перед початком обчислень внутрішнього розподілу опорів фантома зручно було би мати простий інструмент оцінки подібності вимірних значень напруг до напруг однорідного (або тестового) фантома.

¹ Електронний варіант статті: <http://radar.kpi.ua/index.php/radiotechnique/article/view/837>

Таким простим інструментом є класифікатор на базі дискретного нормального ортогонального перетворення [11–15].

Теоретичні відомості

Нормальне перетворення тестового сигналу має лише одну ненульову трансформанту. Алгоритм формування матричного оператора дискретного ортогонального перетворення наведено в [16]. При усередненні вимірювань (при тому самому положенні джерела струму) по ансамблю реалізацій отримуємо математичне очікування вузлових напруг вимірювання. За отриманим математичним очікуванням у відповідності до алгоритму [16] будується матричний дискретний оператор нормального перетворення (його перша трансформанта з точністю до постійного множника співпадає з отриманим математичним очікуванням). Спектр перетворення математичного очікування містить лише одну (першу) трансформанту. Спектри кожної з реалізацій мають першу трансформанту та додатково ненульові трансформанти вищих порядків. Їх величина характеризує ступінь відмінності реалізації з ансамблю від математичного очікування. Чисельно величину відмінності (подібності) реалізації до математичного очікування оцінюється за допомогою коефіцієнта трансформант

$$k_T = \sqrt{\sum_{i=2}^{N-1} A_i^2} / A_1, \quad (1)$$

де N – кількість виміряних напруг при даному положенні джерела струму; A_i – амплітуда i -ї трансформанти.

Результати експерименту

Для однорідного фантому (рис.1а) були виміряні вузлові напруги, значення яких наведено в табл.1. На рис.1 (б,в,г) зображено розташування та розміри неоднорідностей.

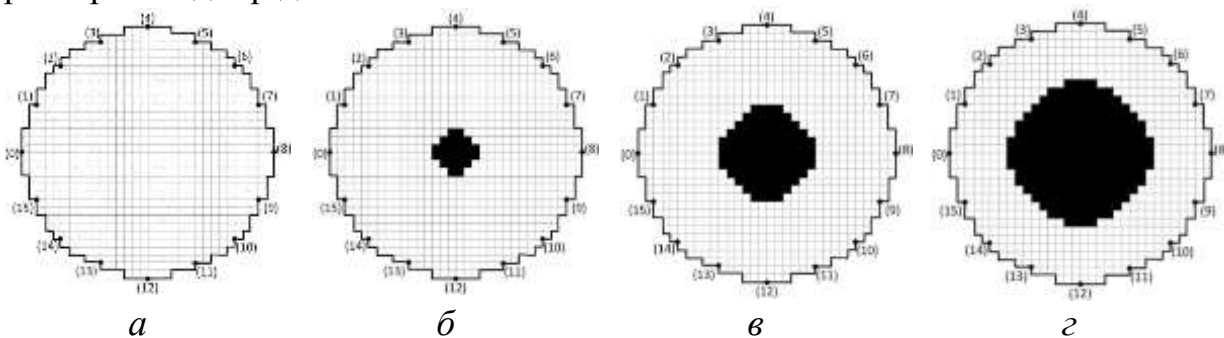


Рис.1. Однорідний фантом та фантом з малою (а), середньою (б) та великою (в) неоднорідністю по центру

В роботі було прийнято, що «велика» неоднорідність – це та, яка складає >10 % загальної площі фантому; «середня» – 3% – 10%; «мала» – < 3%.

Таблиця 1. Вузлові напруги однорідного фантома при підключенні джерела струму до вузлів 0...8

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	0,3876	0,4782	0,5284	0,5762	0,6206	0,6636	0,7445
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	1,1287	0,7445	0,6636	0,6206	0,5762	0,5284	0,4782	0,3876

У випадку натурних вимірювань вузлових напруг на однорідному фантомі після усереднення за ансамблем 16 реалізацій отримано оцінки математичних очікувань напруг, наведені в табл.2.

Таблиця 2. Оцінки математичних очікувань вузлових напруг однорідного фантома

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	23,0941	25,6139	27,3718	28,3718	29,8739	31,2851	33,8015
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	57,5153	33,8391	31,3801	29,7577	28,5024	27,1603	25,57856	23,1111

Оцінки математичних очікувань напруг на електродах за результатами вимірювань при наявності неоднорідностей наведено в табл.3...5.

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

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,4881	24,9184	26,5081	27,8865	29,1985	30,7693	33,3161
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	56,2837	33,2556	30,8513	29,2064	27,8738	26,5432	24,9288	22,4935

Таблиця 4. «Велика» неоднорідність (в центрі) з великим опором

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,4056	24,9144	26,8143	28,6048	30,3776	32,2943	32,8841
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	58,3013	32,7801	32,2759	30,3947	28,6112	25,3589	24,8845	22,2119

Таблиця 5. «Мала» неоднорідність (в центрі) з малим опором

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга	0	22,5966	24,9771	26,3829	27,5338	28,6968	30,0744	32,4431
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга	55,1693	32,4323	30,0724	28,6762	27,4971	26,3908	24,9791	22,5933

Усереднення відхилень значень реалізацій від оцінки математичного очікування дає можливість оцінити середньоквадратичне відхилення вимірювань, яке становить $\sigma \sim 1,8...2$.

Розраховані за фантомами рис.1 (б, в, г) напруги на електродах при різних значеннях поверхневої провідності неоднорідностей наведено в табл. 6 – 8.

Таблиця 6. Напруги на електродах для фантома рис.1,б при поверхневій провідності фону $\sigma_0 = 1$ та провідностям неоднорідності $\sigma = 100, \sigma = 0,01$

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруга при $\sigma = 100$	0	0,3841	0,4633	0,5019	0,5373	0,5728	0,6114	0,6906	1,0747
Напруга при $\sigma = 0,01$	0	0,3839	0,4623	0,4995	0,5325	0,5648	0,6006	0,6771	1,0604

Таблиця 7. Напруги на електродах для фантома рис.1, в при поверхневій провідності фону $\sigma_0 = 1$ та провідностям неоднорідності $\sigma = 100, \sigma = 0,01$

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруга при $\sigma = 100$	0	0,3807	0,4493	0,4766	0,4981	0,5197	0,5467	0,6156	0,9964
Напруга при $\sigma = 0,01$	0	0,3815	0,4525	0,4798	0,4968	0,5117	0,5337	0,5972	0,9762

Таблиця 8. Напруги на електродах для фантома рис.1, г при поверхневій провідності фону $\sigma_0 = 1$ та провідностям неоднорідності $\sigma = 100, \sigma = 0,01$

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруга при $\sigma = 100$	0	0,3734	0,4244	0,4377	0,4448	0,4519	0,4653	0,5163	0,8898
Напруга при $\sigma = 0,01$	0	0,3767	0,4219	0,4282	0,4302	0,4399	0,4553	0,5031	0,8746

В табл. 6 – 8 наведено тільки половину напруг, оскільки внаслідок симетрії (так само, як і в табл. 1) віссю симетрії є лінія між електродами №0 та №8. При вимірюваннях внаслідок похибок вимірювань оцінки математичних очікувань симетрично розташованих електродів відрізняються між собою (табл. 2 – 5).

Таблиця 9. Напруги на електродах для великої неоднорідності між центром та краєм фантома з провідністю неоднорідності $\sigma = 0,01$.

№ ел.	0	1	2	3	4	5	6	7
Напруга при $\sigma = 0,01$	0	21,503	23,953	25,356	26,641	28,085	29,795	32,484
№ ел.	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга при $\sigma = 0,01$	56,81	32,431	29,675	27,961	26,673	25,388	23,751	21,381

В табл. 1, 6 – 8 наведено значення розрахунків для нормованих поверхневих опорів, а в табл. 2 – 5, 9 – виміряні на реальному фантомі напруги без нормування.

У відповідності до алгоритму побудови матричного оператора дискретного нормального перетворення [12–17] за даними табл. 1 (напругами електродів U_i) створимо еталонний сигнал. Для цього знайдемо середнє значення напруг

$$U_0 = (1/16) \sum_{i=0}^{15} U_i$$

та центровані значення (еталон) $\tilde{U}_i = U_i - U_0$. За отриманими центрованими напругами було побудовано матричний дискретний оператор $\overline{\overline{W}}$ нормального перетворення 16-го порядку. Приклади спектрів такого перетворення

$$\bar{X}_\xi = \overline{W} \cdot \bar{U}_i$$

для різних напруг наведено на рис.2 – 3.

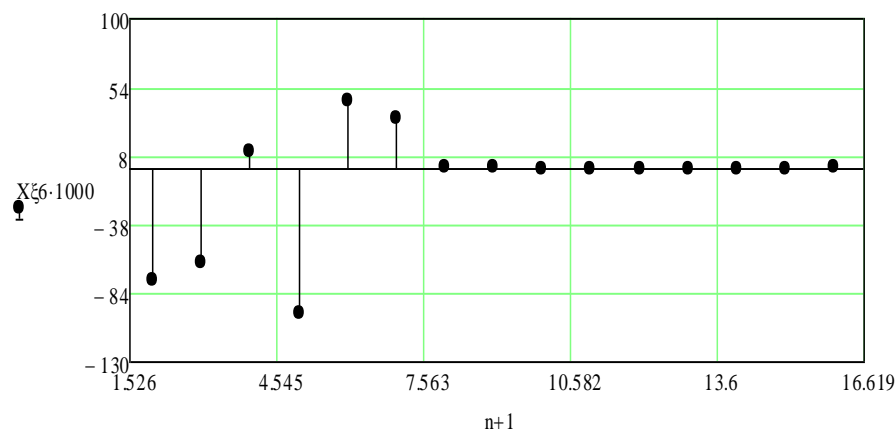


Рис.2 Спектр нормального перетворення напруг фантома з великою неоднорідністю

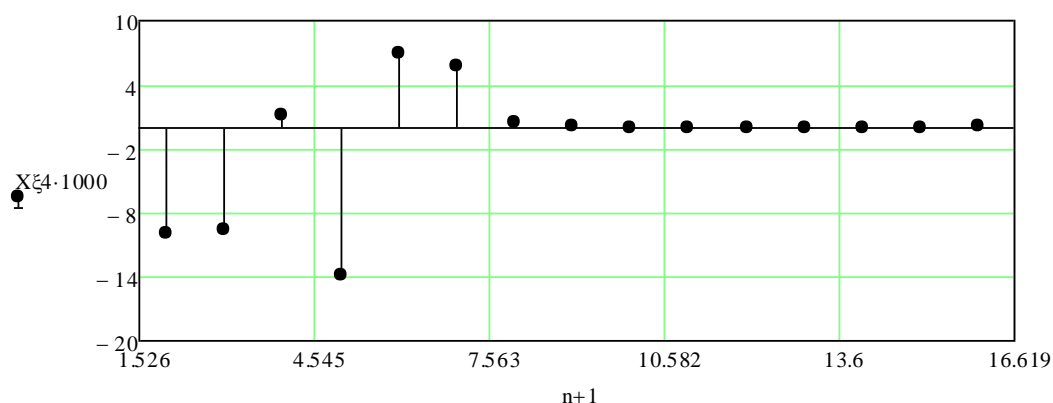


Рис.3 Спектр нормального перетворення напруг фантома з малою неоднорідністю

Так, на рис.2 наведено спектр нормального перетворення напруг фантома з великою неоднорідністю, провідність якої дорівнює 100, а на рис. 3 – для малої неоднорідності з провідністю 0.001. Результати обчислень коефіцієнтів трансформант

$$k_{tr} = \sqrt{\sum_2^{15} X_i^2} / X_1$$

наведено в табл.10,11. Тут X_i – i -та трансформанта спектру нормального перетворення; X_1 – перша трансформанта.

Таблиця 10. Коефіцієнти трансформант різних неоднорідностей, що розташовані по центру фантома різною величиною σ (сігма)

Неоднорідність в центрі	k_{tr} при $\sigma = 100$	k_{tr} при $\sigma = 10$	k_{tr} при $\sigma = 5$	k_{tr} при $\sigma = 0,5$	k_{tr} при $\sigma = 0,1$	k_{tr} при
Однорідний	0	0	0	0	0	0
Велика	36	35	34	38	43	43
Середня	9,057	8,704	8,355	14	13	14
Мала	0,6378	0,598	0,5541	5,238	1,962	1,473

Таблиця 11. Коефіцієнти трансформант для фантома з неоднорідністю усередині фантома (за результатами вимірювань)

Неоднорідності	k_{tr} трансформант
Однорідний фантом	1,091
«Мала» неоднорідність (в центрі) з великим опором	0,944
«Мала» неоднорідність (в центрі) з малим опором	1,226
«Велика» неоднорідність (в центрі) з великим опором	9,376
«Велика» неоднорідність (між центром і краєм) з великим опором	858

Результати, наведені в табл. 10 – 11, свідчать про можливість створення та використання нормального класифікатора для оцінки наявності або відсутності неоднорідності у порівнянні до однорідного фантома. Так, при такій оцінці згідно з табл. 10 «мала» неоднорідність в центрі фантома дає найменші значення коефіцієнта трансформант. При цьому метод реконструкції є малочутливим до прирощень напруг (відносно однорідного фантома). При більших контрастах неоднорідності результати реконструкції містять таку неоднорідність, при менших – не було отримано неоднорідної зони. Для всіх інших випадків (неоднорідність «середня» та «велика») було отримано надійні результати наявності неоднорідності в центрі.

При реконструкції образу за проекціями, отриманими в результаті вимірювань, вплив похибок вимірювань призвів до інших значень коефіцієнтів трансформант. Так, для однорідного фантома з «маленькою» неоднорідністю в центрі фантома коефіцієнти трансформант майже однакові, що свідчить про неможливість реконструкції образу. Інакше кажучи, фантом з «маленькою неоднорідність в центрі сприймається (за коефіцієнтами трансформант та за результатами реконструкції) як фантом «однорідний». Інша ситуація для «великої» неоднорідності в центрі та між центром і краєм фантома. Коефіцієнти трансформант відрізняються від таких коефіцієнтів для «однорідного» фантома на 1...3 порядки.

Таким чином можна стверджувати, що

1. Експериментально показано доцільність та ефективність створення та використання класифікатора нормального перетворення для оцінки наявності або відсутності неоднорідності усередині фантома та можливість створення таких класифікаторів відмін (патологій) досліджуваних фантомів від фантомів з апіорі відомими неоднорідностями (еталонних).

2. Навчання класифікаторів вимагає створення бази даних як еталонів різних класів, так і результатів реконструкції.

Висновки

1. Чутливість методів реконструкції до розмірів, розташування та величини неоднорідностей мала, що приводить, в ряді випадків до похибок реконструкції (не виявлення фактично існуючих неоднорідностей).

2. Запропоновано створення класифікатора чутливості реконструкції в залежності від чутливості до змін провідностей усередині фантома і похибок вимірювань на базі нормального ортогонального перетворення.

3. На прикладах (комп'ютерного моделювання та експериментальних) показано можливості такого класифікатора, що свідчить про коректність запропонованої класифікації.

4. Отримані результати, крім того, дозволять сформулювати вимоги до точності вимірювань томографічного пристрою.

5. Навчання класифікатора вимагає створення бази даних результатів реконструкції (навчальної множини).

Перелік посилань

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

2. Электроимпедансная томография / Я. С. Пеккер, К. С. Бразовский, В. Ю. Усов, М.П. Плотников, О.С. Уманский. – Томск: ООО «Издательство научнотехнической литературы», 2004. – 190с.

3. Vauhkonen M. Tikhonov regularization and prior information in electrical impedance tomography / M. Vauhkonen, D. Vadasz, P. A. Karjalainen, E. Somersalo, J.P. Kaipio // *IEEE Trans. Med. Imaging*. – 1998. – Vol. 17, Is. 2. – pp. 285–293.

4. Рибіна І.О. Розв'язання зворотної задачі імпедансної томографії методами зон провідностей та зворотної проєкції / І.О. Рибіна, О.І. Рибін, О.Б. Шарпан // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2011. – №45. – С. 33 – 45.

5. 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. – pp. 843–852.

6. Рибіна І.О. Метод променів провідностей та моделювання фантома в імпедансній томографії // *Вісник ЖДТУ*. – 2010. – № 2(53). – С.160 –161.

7. Сушко І.А. Сравнение классического метода решения обратной задачи импедансной томографии с методом зон проводимости / И.А. Сушко, А.И. Рыбин // *Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радіотехніка. Радіоапаратостроение*. – 2012. – № 49. – с. 166-177.

8. Сушко І.А. Визуализация распределения поверхностных проводимостей томографического сечения методом зон проводимости / И.А. Сушко // *Известия вузов*.

Радиоэлектроника. – 2013. – Том 56, № 7. – с. 60 – 68.

9. Sushko I. O. Features of solving the Electrical Impedance Tomography inverse problem by zones conductivities method / I. O. Sushko, A. I. Rybin // *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparatabuduv.* – 2012. – № 51. – с. 106-114.

10. Сушко І.О. Особливості використання методу регуляризації при розв'язанні оберненої задачі імпедансної томографії методом зон провідності / І. О. Сушко, О.І. Рибін // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2013. – № 5. – С. 14 – 22.

11. Рибін О.І. Чутливість в електроімпедансній томографії / О.І. Рибін, Є.В. Гайдасенко, І.О. Сушко, О.І. Гаманенко // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2013. – № 55. – с. 107-117.

12. Ніжебецька Ю.Х. Комплексне дискретне нормальне ортогональне перетворення / Ю.Х. Ніжебецька, І.О. Рибіна, О.А. Якубенко // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2009. – № 38. – с. 5-11.

13. Рибін О.І. Порівняння методів нормальної фільтрації та ортогонального розкладу кореляційної матриці / О.І. Рибін, І.О. Рибіна, Ю.Х. Ніжебецька // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2010. – № 42. – с. 5-11.

14. Рибіна І.О. Аналіз подібності та розбіжності реакції лінійної системи до еталонного сигналу за допомогою нормального перетворення / І.О. Рибіна, О.М. Кузьменко, Ю.Х. Ніжебецька, О.Я. Вівчарик // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2010. – № 41. – с. 25-29.

15. Рыбин А.И. Анализ подобия и различия образов. Модифицированный метод классификации на базе корреляционной матрицы / А.И. Рыбин, Ю.Х. Нижебецкая, О.Н. Кузьменко, И.А. Рыбина // *Известия вузов. Радиоэлектроника*. – 2010. – №11. – С. 29 – 37.

16. Rybina I. Authentication of person with dynamically entered signature using of normal orthogonal discrete transformation / I. Rybina, Ju. Nizhebetska // *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science : Proceedings of the Xth International Conference TCSEET'2010 ; February 23-27, 2010. – Lviv – Slavske, Ukraine. – P. 285.*

17. Рибін О.І. Алгоритм формування матричного оператора дискретного нормального перетворення / О.І. Рибін, Ю.Х. Ніжебецька // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2008. – № 37. – с. 19-28.

References

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

2. Pekker Ya.S., Brazovskii K.S., Usov V.Yu., Plotnikov M.P. and Umanskii O.S. (2004) *Elektroimpedansnaya tomografiya* [Electrical impedance tomography]. Tomsk, Izdatel'stvo nauchno-tehnicheskoi literatury, 190 p.

3. Vauhkonen M., Vadasz, D., Karjalainen, P.A., Somersalo, E. and Kaipio, J.P. (1998) Tikhonov regularization and prior information in electrical impedance tomography. *IEEE Trans. Med. Imaging*, Vol. 17, Is. 2, pp. 285–293.

4. Rybina, I. O., Rybin, A. I. and Sharpan, O. B. (2011) Solving the Electrical Impedance Tomography (EIT) inverse problem by the conductivity and back projection methods. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparatabuduv.*, no. 45, pp. 33-45. (in Ukrainian)

5. Yorkey T.J. and Webster J.G. (1987) A comparison of impedance tomographic reconstruction algorithms. *Clin. Phys. Physiol. Meas.*, Vol. 8, Suppl. A, pp. 843-852.

6. Rybina I. O. (2010) Metod promeniv providnostei ta modeliuvannia fantoma v impedansnii tomohrafii [Rays conductivity method and simulation phantom in impedance tomography].

tomography]. *Visnyk ZhDTU*, No 2(53), pp. 160–161.

7. Sushko, I. O. and 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. (in Russian).

8. Sushko I. A. (2013) Visualization of surface conductivity distributions of tomography cross-section using conductivity zones method. *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 56, No 7, pp. 377-383.

9. Sushko, I. O. and 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.

10. Sushko I.O. and Rybin O.I. (2013) The Features of Regularization Method for Solving the Electrical Impedance Tomography Inverse Problem by Zones Conductivities Method. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, No 5, pp. 14-22.

11. Rybin, A. I., Gaydayenko, E. V., Sushko, I. O. and Gamanenko, A. I. (2013) The sensitivity in Electrical Impedance Tomography. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 55, pp. 107-117. (in Ukrainian)

12. Nizhebetska, Y. Kh., Rybina, I. O. and Yakubenko, A. A. (2009) Complex Discrete Normal Ortogonal Transform. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 38, pp. 5-11. (in Ukrainian)

13. Rybin, A. I., Rybina, I. O. and Nizhebetska, Y. Kh. (2010) Comparison of methods of normal filtration and ortogonal decomposition of cross-correlation matrix.. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 42, pp. 5-11. (in Ukrainian)

14. Rybina, I. O., Kuzmenko, O. M., Nizhebetska, Y. Kh. and Vivcharyk, O. Ya. (2010) Analysis of similarity and discrepancy of response of linear system to etalon signal by the instrumentality of double normal transformation. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 41, pp. 25-29. (in Ukrainian)

15. Rybin, A., Nizhebetskaya, Y., Kuz'menko, O. and Rybina, I. (2010) Analysis of similarity and difference of images. Modified classification method on a basis of correlation matrix. *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 53, No 11, pp. 591-598.

16. Rybina I. and Nizhebetska Ju. (2010) Authentication of person with dynamically entered signature using of normal orthogonal discrete transformation. *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, proc. of the Xth Int. Conf. TCESSET'2010*, 23-27 February, Lviv – Slavske, Ukraine, p. 285.

17. Rybin, A. I. and Nizhebetska, Y. Kh. (2008) Algorithm of forming matrix operator of discrete normal transformation. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 37, pp. 19-28. (in Ukrainian).

Сушко І. О., Рибін О. І., Чекерис І. О. Оцінка чутливості в електроімпедансній томографії методом нормального перетворення. Запропоновано створення класифікатора на основі дискретного нормального ортогонального перетворення для оцінки доцільності розв'язання зворотної задачі електроімпедансної томографії за результатами вимірювань напруг на електродах по обводу контуру фантома. Створено класифікатор оцінки чутливості, який на основі обчислення коефіцієнтів трансформант сукупностей вимірних напруг дозволяє зробити висновок про потенційну можливість отримання достовірного результату реконструкції. Проведено обчислення коефіцієнтів трансформант для випадків отримання достовірних результатів візуалізації та для випадків, коли за результатами комп'ютерного моделювання напруг фантома та їх натурних вимірювань отримання надійної реконструкції розподілення опорів усередині фантома не є можливим. Отримані результати свідчать про мож-

ливість створення класифікаторів оцінки чутливості, для чого слід в процесі розв'язання задачі реконструкції створювати відповідну базу даних надійних та ненадійних розв'язків.

Ключові слова: фантом, електроімпедансна томографія, чутливість, класифікатор, точність вимірювань, неоднорідність, оцінка чутливості, нормальне перетворення, трансформанта, реконструкція.

Сушко И. А. Рыбин А. И., Чекерис И. А. **Оценка чувствительности в электроимпедансной томографии методом нормального преобразования.** Предложено создание классификатора на основе дискретного нормального ортогонального преобразования для оценки целесообразности решения обратной задачи электроимпедансной томографии по результатам измерений напряжений на электродах по обводу контура фантома. Создано классификатор оценки чувствительности, который на основе вычисления коэффициентов трансформант совокупностей измеренных напряжений позволяет сделать вывод про потенциальную возможность получения достоверного результата реконструкции. Проведено вычисления коэффициентов трансформант для случаев получения достоверных результатов визуализации и для случаев, когда по результатам компьютерного моделирования напряжений фантома и их натурных измерений получения надежной реконструкции распределения сопротивлений внутри фантома не представляется возможным. Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания классификаторов оценки чувствительности, для чего следует в процессе решения задачи реконструкции создавать базу данных надежных и ненадежных решений.

Ключевые слова: фантом, электроимпедансная томография, чувствительность, классификатор, точность измерений, неоднородность, оценка чувствительности, нормальное преобразование, трансформанта, реконструкция.

Sushko I., Rybin A, Chekerys I. **The assessment of sensitivity in Electrical Impedance Tomography by normal transformation method.**

Introduction. The classifier creation on the base of discrete normal orthogonal transformation to access the advisability of inverse Electrical Impedance Tomography (EIT) solving is proposed. Measured voltages on electrodes on the phantom outline are output data for EIT inverse problem solution. The necessity in preliminary assessment exists because the process of solving is labor-intensive and may not have the reliable results.

The results. The sensitivity access classifier is developed. It allows to make a conclusion about potential possibility of reliable reconstruction result obtaining from calculating the transformant coefficients of measured voltages sets. The transformant coefficients are calculated in cases of reliable visualization results obtaining and in cases where the results of computer simulation phantom voltages and their measurements obtaining the reliable reconstruction of resistance distribution is not possible. The calculations are conducted for different inhomogeneities, with different values of conductivity and locations.

Conclusions. The results suggest the possibility of creation the classifier for sensitivity access. The appropriate database of reliable and unreliable solutions should be formed in the process of reconstruction problem solving.

Keywords: phantom, Electrical Impedance Tomography, sensitivity, classifier, accuracy of measurement, inhomogeneity, the assessment of sensitivity, normal transformation method, transformant coefficients, reconstruction.