

## **ПОТЕНЦІЙНА ЧУТЛИВІСТЬ ІМПЕДАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ**

*Сушко І. О., аспірантка, Гайдаєнко Є.В., аспірант,*

*Якубенко О.А., к.ф.-м.н., доцент*

*Національний технічний університет України*

*“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

### **Вступ**

Методи імпедансної томографії як методи інтроскопії, як інструмент для розв'язання задач неруйнівного контролю знаходять останнім часом все більш широке розповсюдження в техніці, геодезії, медицині тощо. Особливістю електроімпедансної томографії є, в першу чергу, відносна простота (у порівнянні, наприклад, з рентгенівською або ЯМР томографією) технічних засобів [1—5] та відносна складність математичного апарату розв'язання прямої та зворотної задачі [6—13]. Але, не зважаючи на тезу про відносну простоту реалізації технічних засобів імпедансної томографії (в першу чергу — відносно малі кошти), технічний пристрій вимагає відповідної розробки, а вже існуючі томографічні засоби — як вдосконалення, так пошуку і обґрунтування нових схемотехнічних, конструктивних та математичних рішень.

### **Постановка задачі**

Для створення технічних засобів імпедансної томографії вихідними даними повинні бути відносні зміни передаточних опорів (вимірюваних напруг — проєкцій) при зміні поверхневих провідностей окремих ділянок (графоелементів) томографічного розтину. Такі дані можна отримати (абстрагуючись від особливостей натурних вимірювань) лише шляхом точних розрахунків відповідних фантомів на ЕОМ. При цьому достатня точність залежатиме від здатності застосованого методу реконструкції образу відновити графоелементи томографічного розтину.

### **Машинний експеримент**

Для оцінки необхідної точності вимірювань розглянемо фантом рис.1, який складається з 776 квадратних кінцевих елементів і має 840 вузлів. Для цього фантома обчислено передаточні опори (напруги) на вузлах, до яких підключено вимірювальні електроди («жирні» точки на рис.1). При цьому джерело струму під'єднується (за «крос-методом») до протилежних електродів, починаючи з горизонтального положення (ліворуч «земля»). Цю (першу) позицію джерела позначимо як позицію 0...8, а нумерація вузлів на фантомі починається з «землі» (номер 0) за годинниковою стрілкою. У наступному вимірюванні проєкції (напруг на електродах) «земля» джерела

зміщується у вузол 1, а протилежний електрод джерела — на електрод 9 (позиція 1...9) і т.д.

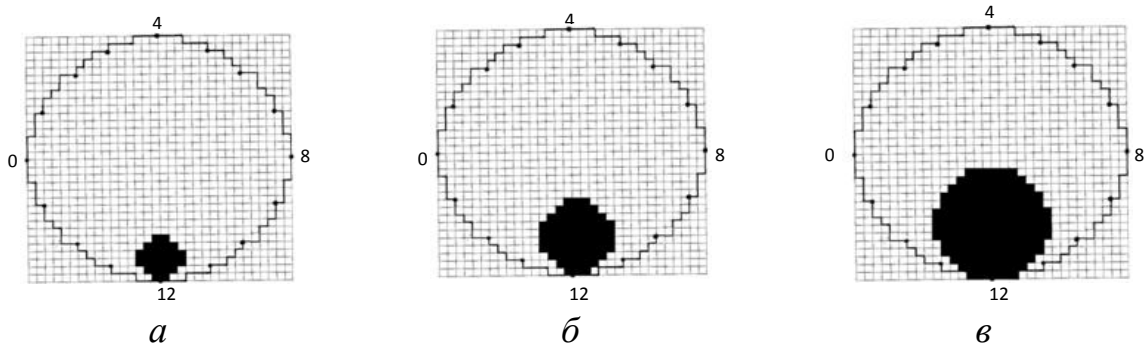


Рис.1

Для рівномірного фантома, не дискретизованого кінцевими елементами та їх еквівалентними електричними схемами (квадрат опорів з двома діагоналями), усі вимірювання при різних позиціях джерела струму будуть однаковими. У випадку фантома рис.1 ці вимірювання будуть відрізнятися, оскільки фантом не обертається разом з джерелом струму. Ці відміни можна вважати певною систематичною похибкою, яка не впливає на оцінювання потенційної чутливості, тобто можна вважати, що експеримент проводиться не для неперервно рівномірного фантома, а для моделі рис.1. В фантомі рис.1 нормована поверхнева провідність  $\sigma = 1$ , а нормований струм джерела струму  $I = 1$ . Похибка обчислень елементів зворотної матриці фантома не перевищує  $10^{-16}$  відносних одиниць. В таблиці 1 наведено розраховані значення напруг на електродах для рівномірного фантому.

Таблиця 1.

№ Ел.	Позиція 0...8	Позиція 1...9	Позиція 2...10	Позиція 3...11	Позиція 4...12	Позиція 5...13	Позиція 6...14	Позиція 7...15
0	0	0,32039	0,400059	0,47177	0,63552	0,57288	0,59893	0,71415
1	0,42526	0	0,32262	0,42574	0,59699	0,53312	0,5509	0,63142
2	0,52703	0,35257	0	0,33056	0,53557	0,47954	0,49566	0,56242
3	0,57956	0,42516	0,30965	0	0,45665	0,4261	0,44885	0,51548
4	0,62754	0,47837	0,39658	0,33887	0	0,33571	0,38652	0,46463
5	0,67047	0,51902	0,44676	0,41593	0,44431	0	0,29505	0,41025
6	0,71303	0,55393	0,48336	0,4612	0,51905	0,31927	0	0,34202
7	0,79461	0,60702	0,53044	0,51149	0,5825	0,41978	0,32696	0
8	1,1906	0,68974	0,5866	0,56268	0,63552	0,48197	0,41292	0,3448
9	0,79461	1,0345	0,67256	0,62487	0,68853	0,53316	0,46908	0,42751
10	0,71303	6,69252	0,99952	0,72538	0,75199	0,58345	0,51616	0,4806
11	0,67047	0,62428	0,70447	1,0446	0,82673	0,62873	0,55276	0,51551
12	0,62754	0,56991	0,613	0,70894	1,271	0,70578	0,60295	0,55617
13	0,57956	0,51906	0,55067	0,61855	0,81439	1,0446	0,68987	0,60938
14	0,52703	0,47211	0,50386	0,56511	0,73547	0,71408	0,99952	0,68196
15	0,42526	0,40312	0,44862	0,51153	0,67405	0,61891	0,6669	1,0345

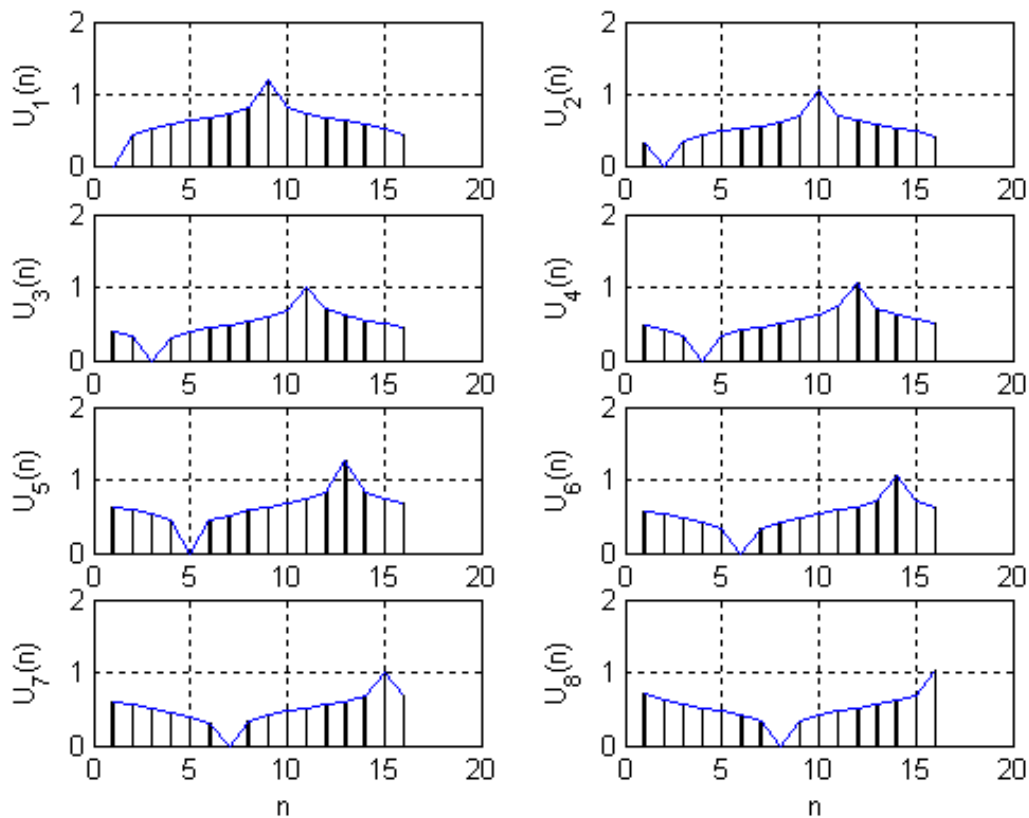


Рис.2

На рис.2 наведено діаграми напруг  $U_{0,8} \dots U_{7,15}$  для 8 позицій джерела струму фантому рис.1 при однорідному фантомі з  $\sigma = 1$ .

Для оцінки потенційної чутливості, потрібної для формулювання вимог до вимірювань в імпедансній томографії, розглянемо вплив на відхилення вимірюваних напруг поверхневих провідностей неоднорідних ділянок фантома.

Спочатку розглянемо «маленьку» неоднорідність (її форму та розміри наведено на рис.1,а внизу). Фантом складається з 776 кінцевих елементів, «маленька» неоднорідність — з 24, отже вона займає 3,092% від загальної площі фантома.

Для «нижнього» розташування поодинокі «малої» неоднорідності прирощення напруг (різниця між напругою на електроді однорідного фантома та фантома з неоднорідністю) для різних значень її поверхневої провідності для позиції джерела 0...8 наведено в таблиці 2.

Аналогічно були розраховані прирощення напруг для випадку, коли «маленька» неоднорідність знаходиться посередині між центром і нижнім краєм фантома та в центрі фантома для тієї ж позиції джерела 0...8.

Таблиця 2.

№ Електрода	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	0	0	0	0	0
1	$1,320 \cdot 10^{-3}$	$1,290 \cdot 10^{-3}$	$1,250 \cdot 10^{-3}$	$7,530 \cdot 10^{-3}$	$1,910 \cdot 10^{-3}$
2	$2,700 \cdot 10^{-3}$	$2,630 \cdot 10^{-3}$	$2,540 \cdot 10^{-3}$	$1,796 \cdot 10^{-2}$	$3,970 \cdot 10^{-3}$
3	$3,660 \cdot 10^{-3}$	$3,560 \cdot 10^{-3}$	$3,340 \cdot 10^{-3}$	$2,783 \cdot 10^{-2}$	$5,150 \cdot 10^{-3}$
4	$4,350 \cdot 10^{-3}$	$4,500 \cdot 10^{-3}$	$4,350 \cdot 10^{-3}$	$3,698 \cdot 10^{-2}$	$6,970 \cdot 10^{-3}$
5	$5,490 \cdot 10^{-3}$	$5,340 \cdot 10^{-3}$	$5,160 \cdot 10^{-3}$	$4,711 \cdot 10^{-2}$	$8,370 \cdot 10^{-3}$
6	$6,290 \cdot 10^{-3}$	$6,110 \cdot 10^{-3}$	$5,910 \cdot 10^{-3}$	$5,733 \cdot 10^{-2}$	$9,660 \cdot 10^{-3}$
7	$7,510 \cdot 10^{-3}$	$7,290 \cdot 10^{-3}$	$7,050 \cdot 10^{-3}$	$7,461 \cdot 10^{-2}$	$1,170 \cdot 10^{-2}$
8	$9,200 \cdot 10^{-3}$	$8,900 \cdot 10^{-3}$	$8,600 \cdot 10^{-3}$	$1,012 \cdot 10^{-1}$	$1,460 \cdot 10^{-2}$
9	$1,172 \cdot 10^{-2}$	$1,137 \cdot 10^{-2}$	$1,097 \cdot 10^{-2}$	$1,481 \cdot 10^{-1}$	$1,905 \cdot 10^{-2}$
10	$1,626 \cdot 10^{-2}$	$1,575 \cdot 10^{-2}$	$1,518 \cdot 10^{-2}$	$2,421 \cdot 10^{-1}$	$2,731 \cdot 10^{-2}$
11	$2,298 \cdot 10^{-2}$	$2,221 \cdot 10^{-2}$	$2,140 \cdot 10^{-2}$	$3,289 \cdot 10^{-1}$	$3,882 \cdot 10^{-2}$
12	$8,120 \cdot 10^{-3}$	$8,050 \cdot 10^{-3}$	$7,960 \cdot 10^{-3}$	$9,518 \cdot 10^{-1}$	$1,487 \cdot 10^{-2}$
13	$-1,289 \cdot 10^{-2}$	$-1,265 \cdot 10^{-2}$	$-1,23 \cdot 10^{-2}$	$1,565 \cdot 10^{-1}$	$-1,33210^{-2}$
14	$-6,030 \cdot 10^{-3}$	$-5,890 \cdot 10^{-3}$	$-5,72 \cdot 10^{-3}$	0	$-7,77 \cdot 10^{-3}$
15	$-1,820 \cdot 10^{-3}$	$-1,770 \cdot 10^{-3}$	$-1,72 \cdot 10^{-3}$	$-6,28 \cdot 10^{-3}$	$-2,51 \cdot 10^{-3}$

Як видно з результатів обчислень, для маленької неоднорідності зміни вимірних напруг для  $\sigma > 1$  (при значеннях «фону»  $\sigma = 1$ ) становлять величини від 0,3 до 3%. Для  $\sigma < 1$  аналогічні відхилення становлять від 0,3 до 150% (для «нижнього» положення неоднорідності). Для поверхневої провідності неоднорідності  $\sigma > 1$  при зміні провідності у 10 разів зміна прирошення напруги становить порядку 3% від значення прирошення. Це, з одного боку, вимагає при вимірюваннях таких змін похибки вимірювань, меншої  $10^{-6}$  від вимірюваної напруги, а з іншого боку показує відносно велику чутливість напруг по обводу фантома при поверхневій провідності «малої» неоднорідності, більшої від провідності «фону».

Слід зауважити, що при розглянутому вище положенні джерела струму (0...8) прирошення напруг будуть найменшими. Найбільшими вони будуть (при наданому розташуванні неоднорідності) при положенні джерела 4...12. Отже, наведемо прирошення напруг для попередніх положень неоднорідності, але при положенні джерела 4...12. Так, в таблиці 3 наведено результати для «малої» неоднорідності, розташованої внизу фантома.

Таблиця 3.

№ Елек-трода	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	$-6,900 \cdot 10^{-4}$	$-8,900 \cdot 10^{-4}$	$-1,080 \cdot 10^{-3}$	$-3,063 \cdot 10^{-1}$	$-2,040 \cdot 10^{-3}$
1	$-7,300 \cdot 10^{-4}$	$-8,300 \cdot 10^{-4}$	$-9,300 \cdot 10^{-4}$	$-2,527 \cdot 10^{-1}$	$-1,980 \cdot 10^{-3}$
2	$-5,600 \cdot 10^{-4}$	$-6,000 \cdot 10^{-4}$	$-6,400 \cdot 10^{-4}$	$-1,678 \cdot 10^{-1}$	$-1,450 \cdot 10^{-3}$
3	$-3,300 \cdot 10^{-4}$	$-3,400 \cdot 10^{-4}$	$-3,600 \cdot 10^{-4}$	$-9,094 \cdot 10^{-2}$	$-8,300 \cdot 10^{-3}$
4	0	0	0	0	0
5	$3,700 \cdot 10^{-4}$	$3,700 \cdot 10^{-4}$	$3,700 \cdot 10^{-4}$	$9,300 \cdot 10^{-2}$	$8,800 \cdot 10^{-4}$
6	$7,900 \cdot 10^{-4}$	$7,700 \cdot 10^{-4}$	$7,600 \cdot 10^{-4}$	$1,884 \cdot 10^{-1}$	$1,820 \cdot 10^{-3}$
7	$1,530 \cdot 10^{-3}$	$1,480 \cdot 10^{-3}$	$1,430 \cdot 10^{-3}$	$3,523 \cdot 10^{-1}$	$3,410 \cdot 10^{-3}$
8	$2,810 \cdot 10^{-3}$	$2,660 \cdot 10^{-3}$	$2,540 \cdot 10^{-3}$	$6,085 \cdot 10^{-1}$	$5,860 \cdot 10^{-3}$
9	$5,340 \cdot 10^{-3}$	$4,970 \cdot 10^{-3}$	$4,630 \cdot 10^{-3}$	1,069	$9,780 \cdot 10^{-3}$
10	$1,189 \cdot 10^{-2}$	$1,076 \cdot 10^{-2}$	$9,750 \cdot 10^{-2}$	1,996	$1,430 \cdot 10^{-2}$
11	$3,044 \cdot 10^{-2}$	$2,675 \cdot 10^{-2}$	$2,346 \cdot 10^{-2}$	2,679	$1,476 \cdot 10^{-2}$
12	$4,324 \cdot 10^{-1}$	$3,980 \cdot 10^{-1}$	$3,620 \cdot 10^{-1}$	13,35	$4,815 \cdot 10^{-1}$
13	$1,610 \cdot 10^{-2}$	$1,158 \cdot 10^{-2}$	$7,400 \cdot 10^{-3}$	1,886	$3,274 \cdot 10^{-2}$
14	$2,190 \cdot 10^{-3}$	$1,080 \cdot 10^{-3}$	$3,000 \cdot 10^{-5}$	$-1,530 \cdot 10^{-1}$	$3,820 \cdot 10^{-3}$
15	$-3,200 \cdot 10^{-4}$	$-7,000 \cdot 10^{-4}$	$-1,060 \cdot 10^{-3}$	$-3,307 \cdot 10^{-1}$	$-1,360 \cdot 10^{-3}$

Аналогічно були проведені розрахунки природження напруг для положення «малої» неоднорідності між центром та низом та в центрі фантома для положення джерела 4...12.

Розглянемо тепер природження напруг на тих самих електродах (при двох позиціях джерела струму 0...8 та 4...12) для «середньої» неоднорідності (рис.1,б). «Середня» неоднорідність складається з 66 кінцевих елементів і займає площу, яка становить 8,505% від загальної площі фантома.

Відхилення напруг для «середньої» неоднорідності, яка торкається нижньої частини фантома, при різних її поверхневих провідностях при ввімкненні джерела в позиції 0...8 наведено в таблиці 4.

Таблиця 4.

№ Елек-трода (1)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$ (2)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$ (3)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$ (4)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$ (5)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$ (6)
0	0	0	0	0	0
1	$4,110 \cdot 10^{-3}$	$3,990 \cdot 10^{-3}$	$3,870 \cdot 10^{-3}$	$6,670 \cdot 10^{-3}$	$2,055 \cdot 10^{-2}$
2	$8,640 \cdot 10^{-3}$	$8,390 \cdot 10^{-3}$	$8,120 \cdot 10^{-3}$	$1,309 \cdot 10^{-2}$	$4,853 \cdot 10^{-2}$
3	$1,191 \cdot 10^{-2}$	$1,157 \cdot 10^{-2}$	$1,119 \cdot 10^{-2}$	$1,729 \cdot 10^{-2}$	$7,182 \cdot 10^{-2}$
4	$1,525 \cdot 10^{-2}$	$1,480 \cdot 10^{-2}$	$1,431 \cdot 10^{-2}$	$2,124 \cdot 10^{-2}$	$9,777 \cdot 10^{-2}$

Таблиця 4. (продовження)

№ Елек-тро-да (1)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$ (2)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$ (3)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$ (4)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$ (5)	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$ (6)
5	$1,825 \cdot 10^{-2}$	$1,771 \cdot 10^{-2}$	$1,711 \cdot 10^{-2}$	$2,458 \cdot 10^{-2}$	$1,229 \cdot 10^{-1}$
6	$2,100 \cdot 10^{-2}$	$2,037 \cdot 10^{-2}$	$1,967 \cdot 10^{-2}$	$2,745 \cdot 10^{-2}$	$1,473 \cdot 10^{-1}$
7	$2,517 \cdot 10^{-2}$	$2,440 \cdot 10^{-2}$	$2,355 \cdot 10^{-2}$	$3,148 \cdot 10^{-2}$	$1,886 \cdot 10^{-1}$
8	$3,060 \cdot 10^{-2}$	$2,970 \cdot 10^{-2}$	$2,860 \cdot 10^{-2}$	$3,600 \cdot 10^{-2}$	$2,419 \cdot 10^{-1}$
9	$3,826 \cdot 10^{-2}$	$3,702 \cdot 10^{-2}$	$5,566 \cdot 10^{-2}$	$3,990 \cdot 10^{-2}$	$3,241 \cdot 10^{-1}$
10	$4,843 \cdot 10^{-2}$	$4,679 \cdot 10^{-2}$	$4,502 \cdot 10^{-2}$	$3,142 \cdot 10^{-2}$	$4,148 \cdot 10^{-1}$
11	$5,192 \cdot 10^{-2}$	$5,050 \cdot 10^{-2}$	$4,888 \cdot 10^{-2}$	$-3,234 \cdot 10^{-2}$	$4,244 \cdot 10^{-1}$
12	$1,686 \cdot 10^{-2}$	$1,626 \cdot 10^{-2}$	$1,558 \cdot 10^{-2}$	$-5,246 \cdot 10^{-2}$	$1,784 \cdot 10^{-1}$
13	$-1,740 \cdot 10^{-2}$	$-1,719 \cdot 10^{-2}$	$-1,698 \cdot 10^{-2}$	$-7,627 \cdot 10^{-2}$	$1,171 \cdot 10^{-1}$
14	$-1,411 \cdot 10^{-2}$	$-1,377 \cdot 10^{-2}$	$-1,341 \cdot 10^{-2}$	$-3,357 \cdot 10^{-2}$	$-1,659 \cdot 10^{-2}$
15	$-5,160 \cdot 10^{-3}$	$-5,020 \cdot 10^{-3}$	$-4,870 \cdot 10^{-3}$	$-1,006 \cdot 10^{-2}$	$-1,811 \cdot 10^{-2}$

Прирошення напруг на електродах при «середній» неоднорідності, розташованій внизу фантома, але при джерелі струму в позиції 4...12 наведено в таблиці 5.

Таблиця 5.

№ Елек-тро-да	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	$3,840 \cdot 10^{-3}$	$3,390 \cdot 10^{-3}$	$2,920 \cdot 10^{-3}$	$-1,160 \cdot 10^{-3}$	$-3,470 \cdot 10^{-3}$
1	$1,770 \cdot 10^{-3}$	$1,560 \cdot 10^{-3}$	$1,340 \cdot 10^{-3}$	$3,120 \cdot 10^{-3}$	$-1,017 \cdot 10^{-2}$
2	$4,300 \cdot 10^{-4}$	$3,800 \cdot 10^{-4}$	$3,300 \cdot 10^{-4}$	$4,870 \cdot 10^{-3}$	$-1,069 \cdot 10^{-2}$
3	0	0	0	$3,770 \cdot 10^{-3}$	$-7,030 \cdot 10^{-3}$
4	0	0	0	0	0
5	$3,500 \cdot 10^{-4}$	$3,100 \cdot 10^{-4}$	$2,700 \cdot 10^{-4}$	$-6,250 \cdot 10^{-3}$	$9,110 \cdot 10^{-3}$
6	$9,700 \cdot 10^{-4}$	$8,700 \cdot 10^{-4}$	$7,600 \cdot 10^{-4}$	$-1,490 \cdot 10^{-2}$	$1,989 \cdot 10^{-2}$
7	$2,440 \cdot 10^{-3}$	$2,180 \cdot 10^{-3}$	$1,890 \cdot 10^{-3}$	$-3,451 \cdot 10^{-2}$	$4,075 \cdot 10^{-2}$
8	$5,450 \cdot 10^{-3}$	$4,850 \cdot 10^{-3}$	$4,200 \cdot 10^{-3}$	$-7,487 \cdot 10^{-2}$	$7,714 \cdot 10^{-2}$
9	$1,215 \cdot 10^{-2}$	$1,073 \cdot 10^{-2}$	$9,250 \cdot 10^{-3}$	$-1,667 \cdot 10^{-1}$	$1,471 \cdot 10^{-1}$
10	$2,986 \cdot 10^{-2}$	$2,597 \cdot 10^{-2}$	$2,211 \cdot 10^{-2}$	$-3,471 \cdot 10^{-1}$	$2,729 \cdot 10^{-1}$
11	$7,337 \cdot 10^{-2}$	$6,361 \cdot 10^{-2}$	$5,370 \cdot 10^{-2}$	$-4,223 \cdot 10^{-1}$	$4,164 \cdot 10^{-1}$
12	$5,088 \cdot 10^{-1}$	$4,690 \cdot 10^{-1}$	$4,282 \cdot 10^{-1}$	1,361	$8,606 \cdot 10^{-1}$
13	$6,521 \cdot 10^{-2}$	$5,495 \cdot 10^{-2}$	$4,519 \cdot 10^{-2}$	$-3,090 \cdot 10^{-2}$	$3,256 \cdot 10^{-1}$
14	$2,231 \cdot 10^{-2}$	$1,934 \cdot 10^{-2}$	$1,631 \cdot 10^{-2}$	$-4,419 \cdot 10^{-2}$	$9,664 \cdot 10^{-2}$
15	$7,910 \cdot 10^{-3}$	$6,980 \cdot 10^{-3}$	$5,980 \cdot 10^{-3}$	$-1,042 \cdot 10^{-2}$	$1,541 \cdot 10^{-2}$

Аналогічно були розраховані значення природження напруг для положення «середньої» неоднорідності між центром та низом та в центрі фантома для положення джерела 0...8 та 4...12.

Для «великої» нерівномірності, розташованої внизу фантома, (рис. 1в) зі 152 кінцевих елементів, що становить 19,59 % від площі фантома, в таблиці 6 наведено приращення напруги при джерелі струму в позиції 0...8.

Таблиця 6.

№ Елек-трода	Приращення напруги при провідності $\sigma = 100$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 10$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 5$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	0	0	0	0	0
1	$1,169 \cdot 10^{-2}$	$1,154 \cdot 10^{-2}$	$1,137 \cdot 10^{-2}$	$1,159 \cdot 10^{-2}$	$1,661 \cdot 10^{-2}$
2	$2,582 \cdot 10^{-2}$	$2,548 \cdot 10^{-2}$	$2,510 \cdot 10^{-2}$	$3,352 \cdot 10^{-2}$	$3,502 \cdot 10^{-2}$
3	$3,637 \cdot 10^{-2}$	$3,589 \cdot 10^{-2}$	$3,535 \cdot 10^{-2}$	$4,564 \cdot 10^{-2}$	$4,781 \cdot 10^{-2}$
4	$4,705 \cdot 10^{-2}$	$4,643 \cdot 10^{-2}$	$4,574 \cdot 10^{-2}$	$5,719 \cdot 10^{-2}$	$6,000 \cdot 10^{-2}$
5	$5,643 \cdot 10^{-2}$	$5,570 \cdot 10^{-2}$	$5,488 \cdot 10^{-2}$	$6,684 \cdot 10^{-2}$	$7,012 \cdot 10^{-2}$
6	$6,473 \cdot 10^{-2}$	$6,391 \cdot 10^{-2}$	$6,299 \cdot 10^{-2}$	$7,509 \cdot 10^{-2}$	$7,859 \cdot 10^{-2}$
7	$7,655 \cdot 10^{-2}$	$7,563 \cdot 10^{-2}$	$7,459 \cdot 10^{-2}$	$8,645 \cdot 10^{-2}$	$8,976 \cdot 10^{-2}$
8	$9,030 \cdot 10^{-2}$	$8,940 \cdot 10^{-2}$	$8,820 \cdot 10^{-2}$	$9,910 \cdot 10^{-2}$	$1,008 \cdot 10^{-1}$
9	$1,055 \cdot 10^{-1}$	$1,046 \cdot 10^{-1}$	$1,035 \cdot 10^{-1}$	$1,104 \cdot 10^{-1}$	$1,070 \cdot 10^{-1}$
10	$1,147 \cdot 10^{-1}$	$1,140 \cdot 10^{-1}$	$1,131 \cdot 10^{-1}$	$1,040 \cdot 10^{-1}$	$9,423 \cdot 10^{-2}$
11	$8,867 \cdot 10^{-2}$	$9,851 \cdot 10^{-2}$	$9,816 \cdot 10^{-2}$	$8,473 \cdot 10^{-2}$	$7,747 \cdot 10^{-2}$
12	$5,652 \cdot 10^{-2}$	$5,640 \cdot 10^{-2}$	$5,618 \cdot 10^{-2}$	$8,939 \cdot 10^{-2}$	$5,469 \cdot 10^{-2}$
13	$8,950 \cdot 10^{-3}$	$8,950 \cdot 10^{-3}$	$8,810 \cdot 10^{-3}$	$-1,958 \cdot 10^{-2}$	$-2,082 \cdot 10^{-2}$
14	$-1,900 \cdot 10^{-3}$	$-1,802 \cdot 10^{-3}$	$-1,784 \cdot 10^{-3}$	$-3,258 \cdot 10^{-2}$	$-3,601 \cdot 10^{-2}$
15	$-1,190 \cdot 10^{-2}$	$-1,175 \cdot 10^{-2}$	$-1,160 \cdot 10^{-2}$	$-1,757 \cdot 10^{-2}$	$-1,904 \cdot 10^{-2}$

Якщо «велика» неоднорідність знаходиться внизу фантома, а джерело струму підключене в позиції 4...12, то приращення напруг мають вигляд табл.7.

Таблиця 7.

№ Елек-трода	Приращення напруги при провідності $\sigma = 100$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 10$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 5$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Приращення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	$8,290 \cdot 10^{-3}$	$6,070 \cdot 10^{-3}$	$4,140 \cdot 10^{-3}$	$-7,551 \cdot 10^{-2}$	$6,302 \cdot 10^{-2}$
1	$2,900 \cdot 10^{-3}$	$1,760 \cdot 10^{-3}$	$7,700 \cdot 10^{-4}$	$-3,188 \cdot 10^{-2}$	$3,389 \cdot 10^{-2}$
2	$-1,700 \cdot 10^{-4}$	$-5,800 \cdot 10^{-4}$	$-9,200 \cdot 10^{-4}$	$-1,003 \cdot 10^{-2}$	$1,270 \cdot 10^{-2}$
3	$-7,300 \cdot 10^{-4}$	$-8,400 \cdot 10^{-4}$	$-9,400 \cdot 10^{-4}$	$-2,950 \cdot 10^{-3}$	$3,650 \cdot 10^{-2}$
4	0	0	0	0	0
5	$1,670 \cdot 10^{-3}$	$1,620 \cdot 10^{-3}$	$1,580 \cdot 10^{-3}$	$-2,100 \cdot 10^{-4}$	$1,560 \cdot 10^{-3}$
6	$4,010 \cdot 10^{-3}$	$3,800 \cdot 10^{-3}$	$3,610 \cdot 10^{-3}$	$-2,970 \cdot 10^{-3}$	$7,070 \cdot 10^{-3}$
7	$8,920 \cdot 10^{-3}$	$8,220 \cdot 10^{-3}$	$7,640 \cdot 10^{-3}$	$-3,320 \cdot 10^{-2}$	$2,280 \cdot 10^{-2}$
8	$1,776 \cdot 10^{-2}$	$1,604 \cdot 10^{-2}$	$1,458 \cdot 10^{-2}$	$-4,257 \cdot 10^{-2}$	$5,770 \cdot 10^{-2}$

Таблиця 7 (продовження)

№ Елек-трода	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
9	$3,484 \cdot 10^{-2}$	$3,082 \cdot 10^{-2}$	$2,735 \cdot 10^{-2}$	$-1,170 \cdot 10^{-1}$	$1,389 \cdot 10^{-1}$
10	$7,114 \cdot 10^{-2}$	$6,121 \cdot 10^{-2}$	$5,253 \cdot 10^{-2}$	$-1,392 \cdot 10^{-1}$	$3,052 \cdot 10^{-1}$
11	$1,361 \cdot 10^{-1}$	$1,180 \cdot 10^{-1}$	$1,006 \cdot 10^{-1}$	$-2,869 \cdot 10^{-1}$	$2,894 \cdot 10^{-1}$
12	$5,764 \cdot 10^{-1}$	$5,297 \cdot 10^{-1}$	$4,839 \cdot 10^{-1}$	$-6,440 \cdot 10^{-2}$	$6,319 \cdot 10^{-1}$
13	$1,233 \cdot 10^{-1}$	$1,022 \cdot 10^{-1}$	$8,263 \cdot 10^{-2}$	$-4,759 \cdot 10^{-1}$	$2,652 \cdot 10^{-1}$
14	$5,292 \cdot 10^{-2}$	$4,179 \cdot 10^{-2}$	$3,191 \cdot 10^{-2}$	$-4,351 \cdot 10^{-1}$	$2,290 \cdot 10^{-1}$
15	$1,905 \cdot 10^{-2}$	$1,477 \cdot 10^{-2}$	$1,100 \cdot 10^{-2}$	$-1,830 \cdot 10^{-1}$	$1,180 \cdot 10^{-1}$

Якщо «велика» неоднорідність знаходиться в центрі фантома, то для позиції джерела струму 0...8 природження напруг мають вигляд табл. 8.

Таблиця 8.

№ Елек-трода	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирошення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	0	0	0	0	0
1	$7,130 \cdot 10^{-3}$	$6,707 \cdot 10^{-3}$	$6,310 \cdot 10^{-3}$	$1,311 \cdot 10^{-2}$	$-5,370 \cdot 10^{-3}$
2	$3,337 \cdot 10^{-2}$	$3,233 \cdot 10^{-2}$	$3,133 \cdot 10^{-2}$	$5,269 \cdot 10^{-2}$	$-1,121 \cdot 10^{-2}$
3	$6,160 \cdot 10^{-2}$	$6,018 \cdot 10^{-2}$	$5,887 \cdot 10^{-2}$	$9,259 \cdot 10^{-2}$	$-1,340 \cdot 10^{-2}$
4	$9,292 \cdot 10^{-2}$	$9,118 \cdot 10^{-2}$	$8,941 \cdot 10^{-2}$	$1,317 \cdot 10^{-1}$	$2,056 \cdot 10^{-2}$
5	$1,187 \cdot 10^{-1}$	$1,167 \cdot 10^{-1}$	$1,147 \cdot 10^{-1}$	$1,581 \cdot 10^{-1}$	$4,857 \cdot 10^{-2}$
6	$1,373 \cdot 10^{-1}$	$1,354 \cdot 10^{-1}$	$1,333 \cdot 10^{-1}$	$1,716 \cdot 10^{-1}$	$7,871 \cdot 10^{-2}$
7	$1,545 \cdot 10^{-1}$	$1,527 \cdot 10^{-1}$	$1,506 \cdot 10^{-1}$	$1,770 \cdot 10^{-1}$	$1,275 \cdot 10^{-1}$
8	$1,610 \cdot 10^{-1}$	$1,594 \cdot 10^{-1}$	$1,575 \cdot 10^{-1}$	$1,722 \cdot 10^{-1}$	$1,808 \cdot 10^{-1}$
9	$1,546 \cdot 10^{-1}$	$1,534 \cdot 10^{-1}$	$1,519 \cdot 10^{-1}$	$1,586 \cdot 10^{-1}$	$1,950 \cdot 10^{-1}$
10	$1,375 \cdot 10^{-1}$	$1,367 \cdot 10^{-1}$	$1,356 \cdot 10^{-1}$	$1,392 \cdot 10^{-1}$	$1,660 \cdot 10^{-1}$
11	$1,189 \cdot 10^{-1}$	$1,184 \cdot 10^{-1}$	$1,176 \cdot 10^{-1}$	$1,199 \cdot 10^{-1}$	$1,296 \cdot 10^{-1}$
12	$9,315 \cdot 10^{-2}$	$9,292 \cdot 10^{-2}$	$9,247 \cdot 10^{-2}$	$9,103 \cdot 10^{-2}$	$6,352 \cdot 10^{-2}$
13	$6,182 \cdot 10^{-2}$	$6,189 \cdot 10^{-2}$	$6,176 \cdot 10^{-2}$	$5,470 \cdot 10^{-2}$	$-1,318 \cdot 10^{-2}$
14	$3,356 \cdot 10^{-2}$	$3,379 \cdot 10^{-2}$	$3,387 \cdot 10^{-2}$	$2,584 \cdot 10^{-2}$	$-3,169 \cdot 10^{-2}$
15	$7,230 \cdot 10^{-3}$	$7,460 \cdot 10^{-3}$	$7,620 \cdot 10^{-3}$	$3,340 \cdot 10^{-3}$	$-7,010 \cdot 10^{-3}$

Для «великої» неоднорідності в центрі фантома для підключення джерела струму в позиції 4...12 природження напруг мають вигляд табл. 9.



Таблиця 9.

№ Елек-трод-а	Прирощення напруги при провідності $\sigma = 100$	Прирощення напруги при провідності $\sigma = 10$	Прирощення напруги при провідності $\sigma = 5$	Прирощення напруги при провідності $\sigma = 0,1$	Прирощення напруги при провідності $\sigma = 0,01$
0	$8,022 \cdot 10^{-2}$	$6,839 \cdot 10^{-2}$	$5,816 \cdot 10^{-2}$	$1,516 \cdot 10^{-1}$	-1,557
1	$5,445 \cdot 10^{-2}$	$4,673 \cdot 10^{-2}$	$4,012 \cdot 10^{-2}$	$1,560 \cdot 10^{-1}$	-1,250
2	$2,341 \cdot 10^{-2}$	$2,018 \cdot 10^{-2}$	$1,749 \cdot 10^{-2}$	$1,091 \cdot 10^{-1}$	$-4,791 \cdot 10^{-1}$
3	$5,660 \cdot 10^{-3}$	$4,760 \cdot 10^{-3}$	$4,050 \cdot 10^{-3}$	$3,662 \cdot 10^{-2}$	$-1,370 \cdot 10^{-1}$
4	0	0	0	0	0
5	$7,680 \cdot 10^{-3}$	$6,970 \cdot 10^{-3}$	$6,350 \cdot 10^{-3}$	$5,210 \cdot 10^{-3}$	$-6,331 \cdot 10^{-2}$
6	$2,265 \cdot 10^{-2}$	$2,016 \cdot 10^{-2}$	$1,806 \cdot 10^{-2}$	$2,861 \cdot 10^{-2}$	$-2,731 \cdot 10^{-1}$
7	$4,945 \cdot 10^{-2}$	$4,346 \cdot 10^{-2}$	$3,837 \cdot 10^{-2}$	$7,612 \cdot 10^{-2}$	$-7,924 \cdot 10^{-1}$
8	$8,045 \cdot 10^{-2}$	$7,012 \cdot 10^{-2}$	$6,123 \cdot 10^{-2}$	$1,109 \cdot 10^{-1}$	-1,514
9	$1,115 \cdot 10^{-1}$	$9,679 \cdot 10^{-2}$	$8,399 \cdot 10^{-2}$	$1,410 \cdot 10^{-1}$	-1,995
10	$1,384 \cdot 10^{-1}$	$1,202 \cdot 10^{-1}$	$1,042 \cdot 10^{-1}$	$1,955 \cdot 10^{-1}$	-2,144
11	$1,534 \cdot 10^{-1}$	$1,334 \cdot 10^{-1}$	$1,157 \cdot 10^{-1}$	$2,392 \cdot 10^{-1}$	-2,096
12	$1,611 \cdot 10^{-1}$	$1,400 \cdot 10^{-1}$	$1,213 \cdot 10^{-1}$	$2,611 \cdot 10^{-1}$	-1,777
13	$1,553 \cdot 10^{-1}$	$1,345 \cdot 10^{-1}$	$1,160 \cdot 10^{-1}$	$2,490 \cdot 10^{-1}$	-1,375
14	$1,373 \cdot 10^{-1}$	$1,180 \cdot 10^{-1}$	$1,010 \cdot 10^{-1}$	$2,188 \cdot 10^{-1}$	-1,400
15	$1,061 \cdot 10^{-1}$	$9,035 \cdot 10^{-2}$	$7,667 \cdot 10^{-2}$	$1,665 \cdot 10^{-1}$	-1,664

Наведених в табл. 1...9 даних достатньо для формулювання вимог до точності вимірювань при різних поверхневих провідностях та різних площах «неоднорідностей» фантома. Так, в таблиці 1 наведено природження напруг (відносно рівномірного фантома) для значень поверхневої провідності «малої» неоднорідності, більшої неоднорідності фону (перші три стовпці). Ці природження становлять долі або одиниці відсотків від напруг рівномірного фантома. До того ж зміни природжень при зміні поверхневих провідностей «неоднорідності» також незначні. Інша картина для тієї ж «неоднорідності» при її поверхневій провідності, яка є більшою провідності фону (стовпці 4, 5) таблиці 1.

Ці зауваження вірні стосовно наведених результатів вимірювань напруг відносно загального вузла. При вимірюванні різниці потенціалів між суміжними вузлами вимоги до точності вимірювань дещо полегшуються.

Так для напруг  $u_8, u_9, u_{10}, u_{11}, u_{12}, u_{13}$  відношення природжень при  $\sigma = 100$  (табл.2) становить відповідно  $\Delta u_i/u_i = 7,727 \cdot 10^{-3}; 1,475 \cdot 10^{-2}; 2,280 \cdot 10^{-2}; 3,427 \cdot 10^{-2}; 1,295 \cdot 10^{-2}; 2,224 \cdot 10^{-2}$ , тобто долі та одиниці відсотків.

Для тих самих електродів напруги між ними мають значення

$u_{8,9} = 3,960 \cdot 10^{-1}; u_{9,10} = 8,960 \cdot 10^{-2}; u_{10,11} = 4,256 \cdot 10^{-2}; u_{11,12} = 4,293 \cdot 10^{-2}; u_{12,13} = 9,798 \cdot 10^{-1}$ . А їх відносні природження  $\Delta u_{i,j}/u_{i,j}$  відповідно дорівнюють  $6,364 \cdot 10^{-3}; 5,565 \cdot 10^{-2}; 1,579 \cdot 10^{-1}; -1,896 \cdot$

$10^{-1}; -2,144 \cdot 10^{-3}$ . Порівнюючи  $\Delta u_i/u_i$  та  $\Delta u_{i,j}/u_{i,j}$ , можна зробити висновки про більшу чутливість  $\Delta u_{i,j}/u_{i,j}$  до прирощень напруг. З іншого боку, ясно, що при поверхневих провідностях «малих» неоднорідностей, більших провідності фону, при забезпеченні потрібної геометричної роздільної здатності похибка в визначенні абсолютного значення провідності може бути «великою».

В той самий час прирощення напруг у випадку більшого поверхневого опору, ніж опір фону, навіть для «малої» неоднорідності є досить великими (стовпці 5, 6 таблиці 1).

Майже аналогічну картину спостерігаємо і для «середньої» неоднорідності. Тільки у випадку «великої» неоднорідності прирощення напруг будуть значними, тобто такими, що не вимагають значних зусиль та жорстких умов при створенні апаратного забезпечення вимірювань напруг в імідансній томографії.

### **Висновки**

1. Успішне розв'язання задачі реконструкції образу з проєкцій в імідансній томографії значною мірою залежить від точності вимірювань напруг по обводу фантома. При цьому точність вимірювань, необхідна для подальшого розрізнення неоднорідності, залежить як від розмірів шуканої неоднорідності, так і від «контрасту» між неоднорідністю і фоном фантома.
2. При постійній площі неоднорідності більші прирощення напруг виникають при більшому контрасті між неоднорідністю та фоном. Причому менш чутливими до контрасту є неоднорідності, які мають поверхневу провідність більшу, ніж провідність фону.
3. При постійній площі неоднорідності більші прирощення виникають при переміщенні неоднорідності до краю фантома.
4. При «малих» неоднорідностях ( $\cong 3\%$  від загальної площі фантома) для найгірших випадків (поверхнева провідність неоднорідності більша за неоднорідність фону) похибка вимірювань напруг не повинна перевищувати  $10^{-5}$  (нормованих одиниць, тобто при поверхневій провідності «фону»  $\sigma=1$ ). Більша ( $10^{-4}$ ) похибка (в залежності від розташування неоднорідності) дасть помітну похибку у визначенні абсолютного значення поверхневої провідності неоднорідності.
5. Для «середньої» неоднорідності (її площа становить  $\cong 8,5\%$  від площі фантома) похибку  $10^{-4}$  можна вважати прийнятною (для того ж найгіршого випадку).
6. При «великій» неоднорідності ( $\cong 20\%$  від площі фантома) похибка вимірювань напруги повинна не перевищувати  $1\%$ .
7. У випадку, коли поверхнева провідність неоднорідності має значення менші, ніж провідність фону, вимоги до точності вимірювань відповідно для «малої», «середньої» та «великої» неоднорідностей полегшуються

(можна сподіватися, що похибка  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  дає змогу надійно реконструювати неоднорідності).

8. Наведені висновки вірні для випадку наявності тільки однієї неоднорідності фантома і тільки для значень її поверхневих провідностей, які не включають інтервал  $\sigma \in [0,1 \dots 10]$ .

9. При наявності надійно обчислених прирощень можливість реконструкції образу повністю буде залежати від методу реконструкції.

10. Надійність реконструкції при більшій кількості неоднорідностей фантома (різних за площею та з різними поверхневими провідностям) слід досліджувати в процесі самої реконструкції.

11. Певного підвищення чутливості вимірювань можна досягти при вимірюванні різниці потенціалів між суміжними електродами.

### Література

1. Brown V. H. Electrical Impedance Tomography / V.H. Brown, D.C. Barber // *Clinical Physics and Physiological Measurement*. — 1992. — v.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 научно-технической литературы». — 2004. — 190с.
3. Корженевский А. В. Квазистатическая электромагнитная томография для биомедицины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. ф.-м. н. Москва. — 2009 — 32с.
4. Корженевский А. В. Способ получения томографического изображения тела и электроимпедансный томограф / А.В. Корженевский, Ю.С. Культисов, В.А. Черепнин. Патент РФ на изобретение № 2127075. — 1996 .
5. Гайдаєнко Є.В. Розроблення та макетування імпедансного томографа для вимірювання розподілення комплексних опорів / Є.В. Гайдаєнко, А.В. Мовчанюк, О.І. Рибін // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №44. — С.148 — 157.
6. Рыбина И.А. Решение прямой задачи импедансной томографии методами теории цепей / И.А. Рыбина // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2010. — №43. — С 4. — 13.
7. Рибіна І.О. Метод променів провідностей та моделювання фантома в імпедансній томографії / І.О. Рибіна // *Вісник ЖДТУ*. — 2010. — т.8. — 4.— С.21 — 28.
8. Рибіна І.О. Обчислення похідних від передаточного опору по поверхневій провідності кінцевих елементів при розв'язанні зворотної задачі імпедансної томографії / І.О. Рибіна, О.І. Рибін, О.Б. Шарпан // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №44. — С.5 — 11.
9. 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»*. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №45. — С.5 — 18.
10. Рибіна І.О. Обчислення похідних від передаточного опору по поверхневій провідності кінцевих елементів при розв'язанні зворотної задачі імпедансної томографії методом зон провідностей / І.О. Рибіна, О.І. Рибін, О.Б. Шарпан // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №44. — С.5 — 21.

11. Сушко І.О. Алгоритм розв'язання прямої задачі імпедансної томографії методом модифікацій / І.О. Сушко // Вісник НТУУ «КПІ» Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — № 47. — С.165 — 175.
12. Сушко І.А. Оценка уровня кавитации методами импедансной томографии / И.А. Сушко, Е.В. Гайдаенко, А.В. Мовчанюк, А.И. Рыбин // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №48. — С. 168 — 179.
13. Дорожковець М.М. Фізичні принципи побудови вимірювальних томографічних систем промислового застосування / М.М. Дорожковець // Вимірювальна техніка та метрологія. — 1996. — №52. — С.113 — 121.

*Сушко І.О., Гайдаєнко Є.В., Якубенко О.А. **Потенційна чутливість імпедансної томографії.** В роботі проведено аналіз точності вимірювань в імпедансній томографії напруг по обводу фантома, необхідної для розрізнення (по вимірюванням) наявності поодиноких неоднорідностей: «маленької» (площа становить 3% від загальної площі фантома), «середньої» (8,5%) та «великої» (19,59%) при різних значеннях поверхневої провідності цих неоднорідностей (на фоні фантома з поверхневою провідністю  $\sigma = 1$ ). Вимірювання було імітовано розрахунками напруг рівномірного фантома, фантомів з неоднорідностями та обчисленням різниць напруг (прироцень) між рівномірним фантомом та фантомами з неоднорідностями. Показано, що неоднорідності з поверхневою провідністю, більшою, ніж провідність «фону» дають суттєво менші приращення напруг, ніж неоднорідності з меншими, ніж «фону» провідностями. Проілюстровано (чисельними значеннями приращень) більшу чутливість при розташуванні неоднорідностей ближче до краю фантома та більших за розміром неоднорідностей. Наведено числові оцінки необхідної точності вимірювань для розглянутих варіантів неоднорідностей.*

***Ключові слова:** фантом, імпедансна томографія, чутливість, приращення, точність вимірювань, неоднорідність.*

*Сушко І.А., Гайдаєнко Є.В., Якубенко О.А. **Потенциальная чувствительность импедансной томографии.** В работе проведен анализ точности измерений в импедансной томографии напряжений по обводу фантома, необходимой для выявления (по измерениям) наличия отдельных неоднородностей: «маленькой» (площадь составляет 3% от общей площади фантома), «средней» (8,5%) и «большой» (19,59%) при разных значениях поверхностной проводимости этих неоднородностей (на фоне фантома с поверхностной при  $\sigma = 1$ ).*

*Измерения были симитированы расчетами напряжений равномерного фантома, фантомов с неоднородностями и расчетом разницы напряжений (приращений) между равномерным фантомом и фантомами с неоднородностями. Показано, что неоднородности с поверхностной проводимостью большей, чем проводимость «фона» дают значительно меньшие приращения напряжений, чем неоднородности с меньшими проводимостями, чем у фона.*

***Ключевые слова:** фантом, импедансная томография, чувствительность, приращение, точность измерений, неоднородность.*

*Sushko I., Gaidayenko Y., Yakubenko O. **Electrical Impedance Tomography potential sensitivity.** The analysis of EIT phantom outline voltage measuring accuracy is carried out in this article. This accuracy is necessary for exposure of single inhomogeneity presence: “small” (it’s square is equal 3% of global phantom square), “middle” (8,5%) and “big”*

*(19,59%) with different surface conductivity values of these inhomogeneities (background is phantom with surface conductivity  $\sigma=1$ ).*

*Measuring was imitated by homogeneous phantom and phantoms with inhomogeneities voltage calculating and voltage difference computing (increment) between homogeneous phantom and phantoms with inhomogeneities. Inhomogeneities with bigger surface conductivity value than background conductivity value give significantly less voltage increments than inhomogeneities with smaller surface conductivity value than background. More sensitivity with closer position to phantom outline and bigger inhomogeneities size is illustrated by means of numerous increments values. Necessary measuring accuracy numerical assessments are proposed for considered inhomogeneities.*

**Keywords:** *phantom, Electrical Impedance Tomography, sensitivity, increment, measuring accuracy, inhomogeneity.*