



П. М. Замятин,  
П. Ф. Шапов,  
Р. С. Томашевський,  
К. В. Колісник,  
О. В. Бойко

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НЕІНВАЗИВНОГО МОНІТОРІНГА КРОВОВТРАТИ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ В МЕДИЦИНІ КАТАСТРОФ

*ДУ «Інститут загальної  
та невідкладної хірургії  
ім. В. Т. Зайцева НАМНУ»*

*Харківський національний  
медичний університет*

*Національний технічний  
університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

**Резюме.** У роботі надано можливості активного неінвазивного моніторингу крововтрат в медицині катастроф. В якості методу контролю стану кровотворної системи постраждалого нами було вибрано біоімпедансометрію, що дозволяє отримувати інформацію про стан внутрішніх органів пацієнта та наповнення їх кров'ю неінвазивно.

**Ключові слова:** надзвичайні обставини, торакальні ушкодження при політравмі біоімпедансометрія, крововтрата, медицина катастроф.

© Колектив авторів

### Вступ

Головною задачею медицини катастроф є швидке та ефективне лікування постраждалих від надзвичайних ситуацій, таких як: аварії на виробництві, техногенні катастрофи, при ліквідації наслідків масових нещаджень та терактів, а також у зоні проведення АТО, та в умовах інших надзвичайних обставин із наявністю торакальних ушкоджень при політравмі.

Найбільш поширеними випадками, з точки зору необхідності екстрених медичних дій в надзвичайних умовах із наявністю торакальних ушкоджень при політравмі є такі: множинні переломи ребер і груднини з наявністю гемопневмоторакса, розриви хворих і паренхиматозних органів, множинні переломи довгих кісток кінцівок, переломи тазових кісток з пошкодженням внутрішньоорганних органів і передозвукових структур з поширеними ускладненими хворими на гемодинамічні та гематоми. Всі ці пошкодження супроводжуються масовою крововтратою, в тому числі і прихованої форми.

### Мета роботи

Розгляд можливості активного неінвазивного моніторингу крововтрат в медицині катастроф із наявністю торакальних ушкоджень при політравмі.

Особливістю надання медичної допомоги пацієнтам в надзвичайних обставинах, що супроводжують катастрофи, є обмежений термін часу та складні умови застосування діагностичних та лікувальних методик.

В якості метода контролю стану кровотворної системи постраждалого нами було вибрано біоімпедансометрію, що дозволяє отримувати інформацію про стан внутрішніх органів пацієнта та наповнення їх кров'ю неінвазивно, що значно спрощує сам процес діагностики та дозволяє проводити її безперервно безпосередньо в місцях

знаходження пацієнта при його первинному діагностуванні та наданні первинної допомоги.

При цьому для опрацювання та визначення необхідних біометричних показників використовуються методи математичної статистики та системно аналізу подій, що супроводжують розвиток надзвичайних обставин.

Важливою частиною проблеми активного моніторингу полягає у відсутності статистично обоснованих норміровань динамічних власних біомедицинських сигналів, локалізованих у часі. Це не дозволяє систематично підходити до розробки інформаційно-вимірних технологій та діагностичних систем, створених на прийняття рішення, з визначенням рівнем заданих рівнів достовірності (або одночасно ризикових первісних і другого рода). Ця частина проблем неможливо вирішити без вірного вибору вірогідності статистичних моделей плану експерименту, гарантуючи ефективне використання технічних середніх, біологічних електронних матеріалів, ресурсів часу медичного персоналу, що знаходяться в критерії максимальної статистичної потужності прикладних рішень.

Використання нестационарних БІМ-сигналів в задачах активного моніторингу прихованих крововтрат. Існуючі методи контролю таких крововтрат на цей час досить недосконалі і виключають можливість моніторингу в режимі реального часу, що виявляється критичним, особливо для випадків гострої крововтрати в надзвичайних обставинах. Тому становить інтерес використання властивостей КМК БІМ-сигналів, корелюється з динамікою кровопостачання організму. Такі сигнали дозволяють отримувати контрольну інформацію в режимі реального часу, відстежуючи локалізовану в часі нестационарність кровотоку при випадковому факторному впливі (зміна обсягу судинного русла).

Планування експерименту по активному моніторингу наявності крововтрат є багатоетапним процесом, обов'язковими складовими якого є:

- планування метрологічної складової — вибір параметрів просторово-орієнтованої моделі системи первинних БІМ-перетворювачів; %
- планування методичної складової, як процедури вейвлет-перетворення — вибір кількості масштабів при локально-невизначеній тривалості зсуву (вибір частоти дискретизації вимірювального сигналу).
- планування вибору інформативних параметрів з максимальною чутливістю до факторного впливу (КМК в просторі двох координат: частота БІМ-сигналу і порядок вейвлет-спектра).

Для оцінки принципової можливості вирішення перерахованих завдань такого планування була проведена серія тестових активних експериментів. Були проведені вимірювання БІМ-сигналів на трьох частотах для 5 пацієнтів, з детермінованими межами 3 фаз експерименту: початкова, активна, кінцева. У цьому ж додатку подано результати розрахунку частотних КМК I та II порядків

Для тестування відмінностей коефіцієнтів кореляції  $r_{sm}$ ,  $r_{sd}$  для суміжних фаз експерименту (фази 1–2 і 2–3) був обраний стандартний тест на значимість, критеріальну Т-статистику якої можна використовувати для кількісної оцінки ефективності варіантів вибору тих чи інших складових загального плану експерименту. У таблиці 1 дані значення Т-статистик для чотирьох пацієнтів з різними варіантами установки первинних перетворювачів БІМ-сигналів (пар електродів, встановлених на різних просторово-розділених ділянках тіла пацієнта).

З таблиці 1 видно, що найбільше значення Т-статистики, несе інформацію про зміну КМК на кордоні двох фаз, максимально для відстані d4 ( $T = 4,4575$ ). Це відстань геометрично максимальна і дозволяє обґрунтувати вибір варіанту розміщення датчиків на тілі пацієнта. Фактично, це завдання планування метрологічної складової, пов'язана з умовною оптимізацією варіанти по максимуму цільової функції у вигляді Т-статистики. Така оптимізація умовна, оскільки число початкових умов обмежено в даному варіанті кількістю пацієнтів,

хоча загальне число варіантів прямує до нескінченності. Однак будь-яке обмеження варіантів дає можливість, наприклад, на основі таблиці 1 вибрати варіант, який близький до відомих біофізичним моделей, підкріпленим максимізацією Т-статистики.

Для дослідження завдання планування методичної складової були проведені розрахунки середніх значень КМК по фазах експерименту (таблиця 2).

Таблиця 2

**Оцінки середніх значень КМК для частот БІМ-сигналів 20, 100 і 500 кГц**

Частота БІМ-сигналу	Фаза	КМК I	КМК II
20 кГц	1	0,4902	0,6089
	2	0,0315	0,4976
	3	0,1211	0,6704
100 кГц	1	0,3589	0,5648
	2	0,1653	0,5504
	3	0,0345	0,5715
500 кГц	1	0,3811	0,4979
	2	-0,0944	0,1582
	3	0,1817	0,51

Табл. 2 наочно показує занижене значення КМК для фази 2 по відношенню до фаз 1 і 3. Зменшення КМК для фази 2 вказує на зростання динаміки спектральної нестационарності БІМ-сигналу на інтервалі часу, відповідному цій фазі. Фактично початок крововтрати супроводжується зменшенням КМК по відношенню до попередньої фази (фази 1), а закінчення крововтрати призводить до збільшення КМК по відношенню до фази 2. У таблиці 2 тільки одне (затоноване) значення КМК I порядку (для частоти 100 кГц і фази 3) можна вважати промахом.

З табл. 2 можна отримати графічну інформацію про зміни КМК по фазах 1,2 і 3 експерименту. На рисунках 1 і 2 показані залежності вихідного БІМ-сигналу і інформативного параметра КМК I порядку від часу експерименту, зазначенням його фаз.

Подальші дослідження показали необхідність планування експерименту по активному моніторингу появи і припинення крововтрат при виконанні таких рекомендацій:

- забезпечення максимального шляху проходження скануючого струму БІМ-сигналу, за ра-

Таблиця 1

**Значення Т-статистики для п'яти варіантів просторового поділу електродів на тілі пацієнта (на частоті 20 кГц; КМК -  $r_{sm}$ )**

Пацієнт	1	2	3	4
Розташування	Третина лівого передпліччя — середина плеча лівої руки	Долоня — середина плеча лівої руки	зап'ясті лівої руки — голенистою лівої ноги	зап'ясті лівої руки — голенистою правої ноги
Умовна відстань	d1	d2	d3	d4
Значення Т-статистики. Фаза 1-2	0,5711	0,8139	3,3348	4,4575
Значення Т-статистики. Фаза 2-3	-0,6101	не визначено	-0,5372	-0,5974

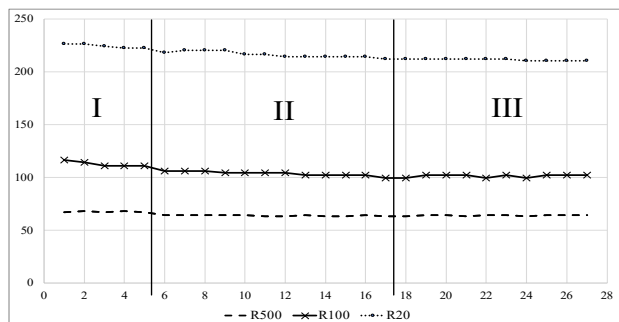


Рис. 1. Типові реалізації БІМ-сигналів для частот 20, 100 і 500 кГц

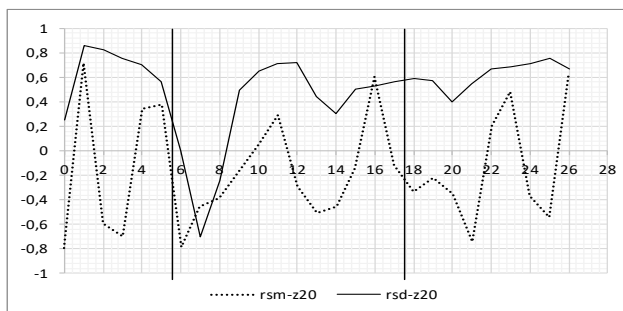


Рис. 2. Результати оцінювання КМК I порядку для частот 20, 100 та 500 кГц

хунок вибору місць фіксації електродів за спрощеним варіантом «ліва рука — права нога»;

- вибір частоти дискретизації БІМ-сигналу такою, щоб забезпечити число масштабів вейвлет-перетворень не менше 20;
- вибір несучої частоти БІМ-сигналу близько 500 кГц, та вибір КМК з використанням вейвлет-спектра другого порядку.

Проведені дослідження показали на перспективність інформаційно-виміральної процедури контролю динамічних параметрів нестационарності БІМ-сигналів в задачах виявлення прихова-

них кровотеч. Особливо важливим є можливість автоматизації активного моніторингу в рамках вже існуючих комп'ютеризованих інформаційних систем медичного призначення. Така автоматизація базується на побудові плану біомедичного експерименту в якому використовується ковзне спостереження БІМ-сигналу за допомогою зведеного вікна спостереження. Таке вікно представляє два послідовних інтервали часу для кожного з яких обчислюється незалежне значення КМК, а порівняння цих КМК проводиться за допомогою Т-статистики.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Особенности телемониторинга состояния пострадавших в чрезвычайных ситуациях / Бойко В. В., Замятин П. Н., Колесник К. В., Шишкин М. А., Голдобин С. Н. // Сборник научных трудов 6-го Международного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития. МРФ 2017». Конференция «Проблемы биоинженерии. Наука и технологии». 17-19 октября 2017 г. – Харьков, Украина. АНПРЭ, ХНУРЭ, – С 116-118. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/34062>
2. Портативный биоимпедансометр для телемедицинского комплекса / Лосев Н. В., Томашевский Р. С., Чурсина Ю. В. // Материалы I международной научно-технической конференции: Актуальные проблемы автоматизации и приборостроения» (7-8 декабря, 2017). – Украина, Харьков. – 2017. НТУ ХПИ, – С. 63-64. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/33995>
3. Томашевський Р. С. Вибір параметрів планування та підвищення ефективності методу неінвазивного моніторингу кровотрати на основі біоімпедансометрії / Томашевський Р. С. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник – Луцьк, 2018. – №61(152). – С.221-229
4. Комплексний підхід щодо діагностики та первинної терапії постраждалих а надзвичайних обставинах за допомогою телемоніторингу / В. В. Бойко, П. Н. Замятин, Е. И. Сокол, П. Ф. Шапов, К. В. Колісник // Сучасні проблеми дерматовенерології, косметології та управління охороною здоров'я. Збірник Наукових праць Випуск 15. – Харків: Оберіг, 2018. – С. 14-20.
5. Бойко В. В., Замятин П. Н., Колесник К. В., Шишкин М. А., Голдобин С. Н. Особенности телемониторинга состояния пострадавших в чрезвычайных ситуациях // Сборник научных трудов 6-го Международного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития. МРФ 2017». Конференция «Проблемы биоинженерии. Наука и технологии». 17-19 октября 2017 г. – Харьков, Украина. АНПРЭ, ХНУРЭ, – С. 116-118.
6. Бойко В. В., Замятин П. Н., Лихман В. М., Мирошниченко Ю. І., Провар Л.В. Особливості діагностики і хірургічної тактики при пошкодженнях внутрішніх органів та заочеревних структур в умовах масивної крововтрати. – 2017. – С. 121-124.
7. Бойко В. В., Замятин Д. П., Замятин П. М. Хирургия сердечных поранень / Клінічна та експериментальна патофізіологія. – 2017. №2 (дод.). – С. 34-41.
8. Surgery of heart injuries. The features of modern doctrine / P. Labash, V. Boyko, P. Zamiatin, I. Polivenok, O. Buchneva, D. Zamiatin // Bratislava – Kharkiv / pub. Komensky University in Bratislava». – 2017. – 248 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
МЕТОДА  
НЕИНВАЗИВНОГО  
МОНИТОРИНГА  
КРОВОПОТЕРИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ  
В МЕДИЦИНЕ КАТАСТРОФ

*П. Н. Замятин,  
П. Ф. Шапов,  
Р. С. Томашевский,  
К. В. Колесник, О. В. Бойко*

APPLICATION OF  
THE METHOD OF  
NON-INVASIVE  
MONITORING OF THROAT  
WITH THE USE OF  
BIOMIMPEDANSOMETRY  
IN THE EMERGENCY  
MEDICINE

*P. M. Zamiatin, P. Ph. Shapov,  
R. S. Tomashevskyi,  
K. V. Kolisnyk, O. V. Boyko<sup>2</sup>*

**Резюме.** В работе рассмотрены возможности активного неинвазивного мониторинга кровопотери в медицине катастроф при наличии торакальных повреждений при политравме. В качестве метода контроля состояния кроветворной системы пострадавшего нами было выбрано биоимпедансометрию, что позволяло получать информацию о состоянии внутренних органов пациента и наполнения их кровью неинвазивный.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, торакальные повреждения при политравме биоимпедансометрия, кровотечение, медицина катастроф.

**Abstract.** Possibilities of active non-invasive monitoring of blood loss in catastrophe medicine are considered in the work. As a method of monitoring the condition of the hematopoietic system of the victim, we have chosen bioimpedansometry, which allows to obtain information about the condition of the internal organs of the patient and filling them with blood non-invasively.

**Key words:** emergencies, thoracic injury in polytrauma, bioimpedansometry, blood loss, disaster medicine.