

7. ДСТУ 4163-2003. Державна уніфікована система документації. Уніфікована система організаційно-розпорядчої документації. Вимоги до оформлення документів [Електронний ресурс]. – Національний стандарт України. – Режим доступу: <http://metrology.com.ua/download/dstu-gost-gost-r/60-dstu/191-dstu-4163-2003>

8. Joa, M. H. WEB 2.0 Based satellite images search through mash-up [Text]: conference / M. H. Joa, Y. W. Joa, J. S. Kim. – ISPRS, 2008. – P. 861–863. – Available at: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4\\_pdf/153.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/153.pdf)

#### References

1. Informacionnye bazy dannyh i jelektronnye biblioteki. Available at: <http://bourabai.kz/einf/chapter121.htm>

2. Knowledge base definition. TechTarget. Available at: <http://searchcrm.techtarget.com/definition/knowledge-base>

3. Kuhlthau, C. C. Information Search Process. New Jersey. Available at: [https://comminfo.rutgers.edu/~kuhlthau/information\\_search\\_process.htm](https://comminfo.rutgers.edu/~kuhlthau/information_search_process.htm)

4. Information search and decision making. USC Marshall. Available at: [http://www.consumerpsychologist.com/cb\\_Decision\\_Making.html](http://www.consumerpsychologist.com/cb_Decision_Making.html)

5. Information Search. Available at: <https://www.boundless.com/marketing/textbooks/boundless-marketing-textbook/consumer-marketing-4/the-consumer-decision-process-40/information-search-201-4089/>

6. Searching with Words, Phrases, or Plain Language. Available at: <http://dl.acm.org/documentation/Types.htm>

7. DSTU 4163-2003. Derzhavna unifikovana sistema dokumentacij. Unifikovana sistema organizacijno-rozporjadchoy dokumentacij. Vimogi do oformljuvannja dokumentiv. Nacional'nij standart Ukrainy. Available at: <http://metrology.com.ua/download/dstu-gost-gost-r/60-dstu/191-dstu-4163-2003>

8. Joa, M. H., Joa, Y. W., Kim, J. S. (2008). WEB 2.0 Based satellite images search through mash-up. ISPRS, 861–863. Available at: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4\\_pdf/153.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/153.pdf)

*Дата надходження рукопису 20.11.2015*

**Кунченко-Харченко Валентина Іванівна**, доктор технічних наук, професор, кафедра інформатики і інформаційної безпеки, Черкаський державний технологічний університет, бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна, 18006

E-mail: [valentine.kun@ukr.net](mailto:valentine.kun@ukr.net)

УДК 616.33/34-009.1-07.616-031.14-519.876.5

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.55848

## ОБНАРУЖЕНИЕ И НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛАХ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

© Р. В. Стецишин, Д. П. Замятин, О. Ю. Кропачек, Р. П. Мигущенко

*Рассмотрена математическая модель процедуры скользящего дифференцирования спектрально-нестационарных случайных биомедицинских измерительных сигналов. Доказана возможность получения дополнительной диагностической информации для количественной оценки изменений электрической и механической активности биологических структур при физико-химических воздействиях на последние. Показана эффективность использования разработанной процедуры в задачах анализа активности химически индуцированных спонтанных сокращений мочеочника и идентификации кардиодинамических нарушений при закрытой травме груди, сопровождающейся ушибом сердца*

**Ключевые слова:** ушиб, мочеочник, грудная клетка, биомедицинские измерительные сигналы, математическая модель, статистика

*It was described the mathematical model of procedures for moving spectrally differentiating non-stationary random biomedical measurement signals. It is proved a possibility of additional diagnostic information to quantify the changes in electrical and mechanical activity of biological structures at the physical and chemical effects. It is shown an efficiency of using procedures developed for the analysis of activity chemically induced spontaneous contractions of the ureter and identification cardiodynamic violations in closed chest trauma, accompanied by heart injury*

**Keywords:** injury, ureter, chest, biomedical measurement signals, mathematical model, statistics

### 1. Введение

Задачи обнаружения изменений свойств случайных измерительных сигналов, используемых для

контроля и диагностики динамических объектов с априори неопределенными свойствами, являются в метрологическом плане наиболее сложными, как в

технической, так и медицинской диагностике. Особую сложность такие задачи приобретают в случае, когда измерительные сигналы являются случайными нестационарными процессами, а время их наблюдения ограничено интервалом возможной нестационарности [1–3]. Отсутствие статистически нормативных критериев в процедурах экспресс-диагностики по случайным сигналам биомедицинской информации порождает проблему планирования как самого медико-диагностического эксперимента, так и последующей оптимальной терапии.

Актуальность такой проблемы наиболее ярко проявляется в двух областях получения медико-биологической информации. Во-первых, в экспериментальной урологии, при исследовании и лечении мочекаменной болезни в рамках химической активации динамических спонтанных сокращений мочеточника. Во-вторых, в клинической кардиологии при обнаружении кардиодинамических нарушений, связанных травматическими повреждениями грудной клетки [4–7].

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Мониторинг состояний любых биологических сред и структур, использующий непрерывные во времени сигналы измерительной информации, предназначен для выявления значимых изменений в состояниях контролируемых объектов, причем в режиме реального времени и на относительно небольших интервалах наблюдения [1]. Обнаружение таких изменений практически всегда связано с появлением спонтанной нестационарности, наблюдаемых измерительных сигналов, априори случайных из-за наличия в биологических объектах неконтролируемых процессов энергетических биохимических изменений [8].

Основную информацию об изменениях вида состояния биологического объекта несут информативные параметры, связанные с динамикой (скоростью, ускорением) тех или иных показателей возможной нестационарности измерительного сигнала [3].

Анализ последних публикаций, посвященных повышению достоверности диагностических решений при использовании случайных нестационарных биомедицинских сигналов, показывает, что применение динамических моделей биологических состояний помогает планировать биомедицинские эксперименты, повышая статистическую устойчивость результатов последних [9]. Однако, в плане снижения возможных рисков при получении статистически достоверных выводов по результатам анализа случайных биомедицинских сигналов измерительной информации, следует отметить отсутствие процедур вероятностной нормировки таких сигналов. Это ограничивает возможности использования известных [10] параметрических тестов при обнаружении изменений свойств у контролируемых биологических объектов.

## 3. Цель и задачи исследования

Цель статьи – разработка математической модели процедуры статистического преобразования

случайного нестационарного сигнала, позволяющей контролировать скорость изменения его мгновенной мощности при учете заданных значений рисков неправильных решений. Для этого необходимо решить задачу возможности применения разработанной процедуры для контроля активности спонтанных сокращений мочеточника и идентификации кардиодинамических нарушений, связанных с ушибом сердца при закрытой травме груди.

## 4. Модель процедуры скользящего дифференцирования.

Будем рассматривать исходный процесс  $X(t)$ , несущий скрытую информацию о виде ( $S_0$  или  $S_1$ ) функционального состояния динамического объекта контроля как случайный процесс. При этом будем считать, что состояние  $S_0$  соответствует норме, а  $S_1$  – нарушению нормы (например, скрытая патология). Сам объект – это биологическая среда или структура. Сигнал  $x(t)$  – это реализация процесса  $X(t)$  (результаты распределенных во времени измерений):

$$x(t) = \{x(t_1), x(t_n), \dots, x(t_N)\}, \quad (1)$$

где  $N$  – общее число измерений.

Если выделить на общем интервале времени  $(0, t_N)$  некоторое окно наблюдения, шириной  $\Delta_i \in (t_i, t_{i+n})$ , где  $n \ll N$ , а  $i = 1, (N-n)$ , то известная одномерная  $T$ -статистика [2, 3]

$$T_{\Delta_i} = \frac{1}{\sqrt{2n}} \sum_{i=1}^n \left( \frac{e_i^2}{\sigma_0^2} - 1 \right) \quad (2)$$

позволяет оценить мгновенное значение нормированной мощности центрированного процесса в окне наблюдения  $(t_i, t_{i+n})$ .

В выражении (2):  $e_i$  – мгновенное значение процесса  $\dot{x}(t)$  для момента времени  $t_i$ ,  $\sigma_0^2$  – дисперсия (мощность) процесса  $\dot{x}(t)$ , соответствующая состоянию  $S_0$ .

Для получения скорости  $V_i$  изменения мощности  $T_{\Delta}$  на отрезке времени  $\Delta_r(t_i, t_{i+r})$ , где  $r < n$ , достаточно использовать две, сдвинутых во времени на  $r$  отсчетов,  $T$  – статистики (2):

$$V_i = \frac{T_{\Delta_{i+r}} - T_{\Delta_i}}{r}. \quad (3)$$

Поскольку статистика  $V_i$  имеет нулевое среднее значение для состояния  $S_0$  ( $m_{V_i}^{(0)} = 0$ ) и дисперсию равную

$$D_{V_i}^{(0)} = \frac{2}{m}, \quad (4)$$

то для нормировки  $V_i$  по дисперсии (4) достаточно сделать преобразование

$$V = \frac{V_i}{\left(\frac{2}{rn}\right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (5)$$

В этом случае, получаем нормированную (с нулевым средним  $m_{V_i}^{(0)} = 0$  и единичной дисперсией  $D_V = 1$  статистику)

$$V = \frac{1}{2\sqrt{r}} \left[ \sum_{i=n+1}^{n+r} \left(\frac{e_i}{\sigma_0}\right)^2 - \sum_{i=1}^r \left(\frac{e_i}{\sigma_0}\right)^2 \right]. \quad (6)$$

При заданном риске первого рода  $\alpha = 0.05$ , получим границы (нижнюю  $V_H$  и верхнюю  $V_B$ ) зоны допустимых значений для статистики  $V$ , как числа:

$$\begin{cases} V_H = -1.96, \\ V_B = 1.96. \end{cases} \quad (7)$$

Эти границы можно использовать для проверки, например, гипотезы о том, что дисперсия  $\sigma^2$  статистики  $V$  равна  $\sigma_0^2$  (что соответствует состоянию  $S_0$  объекта контроля), то есть

$$H_0 : \sigma^2 = \sigma_0^2 \text{ (или } S \in S_0)$$

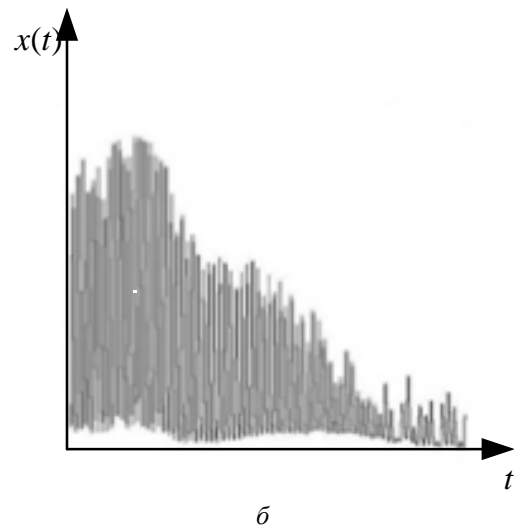
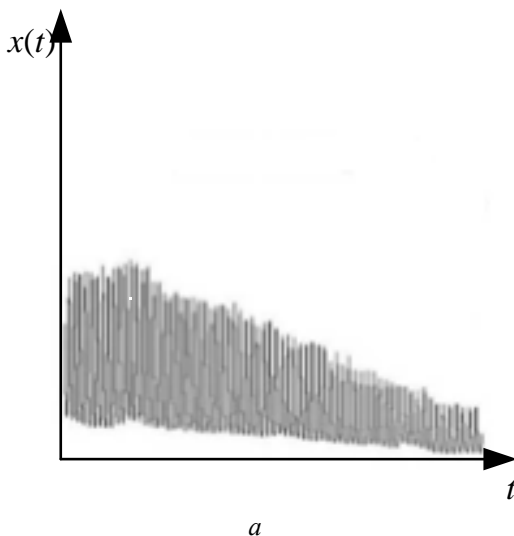


Рис. 1. Типичные нестационарные тензометрические механограммы сокращений мочеоточника:  $a$  – при малой химической активации;  $b$  – при большой химической активации

Использование  $V$ -статистики (6) позволило резко повысить чувствительность используемой установки, особенно при слабых концентрациях этих веществ, при исследованиях механизмов химической активации индуцированных сокращений мочеоточника. Для эксперимента были использованы 13 химических веществ, которые были ранжированы по возрастанию их факторного влияния, причем такое ранжирование проводилось по  $V$ -статистике. Последняя применялась от величины 0.34 до величины 2.16. Достоверность ранжирования была не ниже 0.95 (при риске  $\alpha = 0.05$ ). Параметры ( $N$ ,  $n$ ,  $r$ ) процедуры (6) скользящего дифференцирования:  $N = 362$ ,  $n = 15$ ,  $r = 5$ . Эксперимент статистически значимо

Если  $V \in (V_H, V_B)$ , то принимают решение  $\gamma_0 : S \in S_0$ .

Если же  $V \notin (V_H, V_B)$ , то принимают решение  $\gamma_1 : S \in S_1$ . Риск такого решения не превысит величины  $\alpha = 0.05$ .

### 5. Контроль спонтанных сокращений мочеоточника

Исходным процессом  $X(t)$  при экспериментальном исследовании химически индуцированных спонтанных сокращений мочеоточника, являлась дискретизированная во времени тензометрическая механограмма  $\dot{x}(t)$ , типичный вид которой представлен на рис. 1.

Тензометрический датчик TSD 125C в составе измерительной установки фирмы Biopac System (США) преобразовывал механические низкочастотные ( $f \approx 2 \text{ Гц}$ ) сокращения мочеоточника в электрический сигнал с нестационарностью по среднеквадратической мощности. Скорость убывания мощности сигнала зависима от концентрации исследуемых, факторно влияющих на сигнал  $x(t)$ , химических веществ [11].

доказал возможность использования динамических свойств затухающих биомедицинских сигналов для получения дополнительной информации о достаточно тонких и слабо выраженных эффектах тонической активации биологической ткани.

### 6. Контроль кардиодинамических нарушений при травмах груди

Важнейшим элементом при оказании экстренной медицинской помощи пострадавшим с закрытой травмой груди являются своевременное распознавание ушиба и, главное, степень тяжести последнего.

Важную роль в таком распознавании играют электрокардиограммы (ЭКГ). Для получения допол-

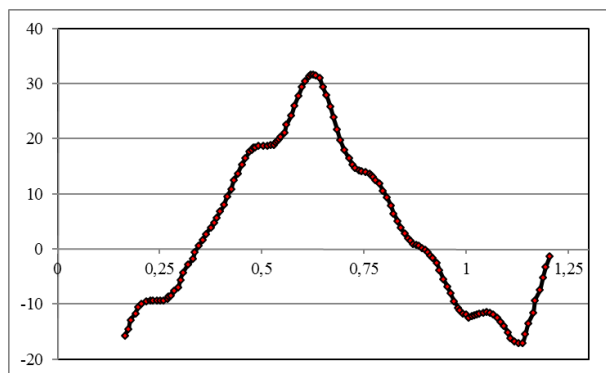
нительной информации при анализе ЭКГ было предложено выявлять изменения динамических свойств в элементах ЭКГ с помощью статистики (6) скользящего дифференцирования. Информативными параметрами, при этом, будут экстремальные значения  $V$ -статистики (6) для наиболее распространенного, в кардиодиагностике ушибов сердца, зубца  $T$ . Особенность этого зубца – наличие сглаженных, двухфазных и отрицательных искажений условно нормативной формы [12].

Исходным процессом  $x(t)$  в этом случае, электропотенциальная дискретизированная реализация  $T$ -зубца ЭКГ, полученной с помощью мобильного портативного микропроцессорного сенсорного фазографа.

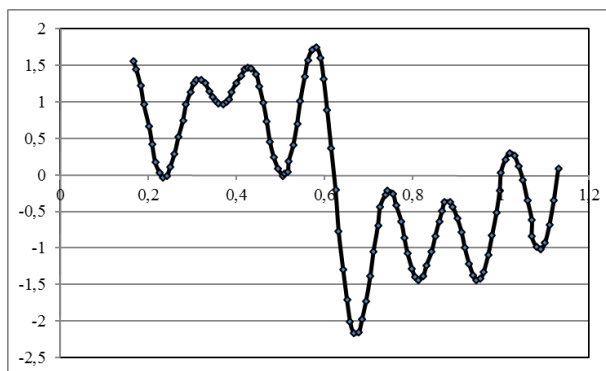
На рис. 2 представлены изображения а)  $T$ -зубца ЭКГ типичного больного с ушибом сердца, б) зависимость  $V$ -статистики от времени наблюдения, полученной в интервале существования  $T$ -зубца.

Для статистической устойчивости экстремальных значений  $V$ -статистики, получение последней осуществлялось для двух групп больных: группа А (74 пострадавших с подтвержденным диагнозом ушиба сердца), группа Б (54 пострадавших – без существенно значимого ушиба). Параметры процедуры вычисления  $V$ -статистики:  $N = 126$ ,  $n = 10$ ,  $r = 3$ .

В табл. 1 представлены значения экстремумов  $V$ -статистики для групп А и Б с указанием достоверности полученных диагностических результатов: без учета  $V$ -статистики и с учетом последней.



а



б

Рис. 2. Т-зубец кардиограммы при ушибе сердца и соответствующая этому зубцу V-статистика:  
а – Т-зубец; б – V-статистика

Таблица 1

Средние значения экстремумов  $V$ -статистики и достоверности диагностических решений

Группа пострадавших	Экстремум $V$ -статистики	Достоверность	
		без $V$ -статистики	с $V$ -статистикой
А	2.28±0.36	0.757	0.891
Б	1.74±0.32	0.74	0.796

Из табл. 1 видно, что привлечение для анализа ЭКГ процедуры скользящего дифференцирования (с помощью  $V$ -статистики) повышает достоверность диагностирования дополнительно на (5.6÷13.4) %.

### 7. Выводы

1. Разработана математическая модель процедуры скользящего дифференцирования нестационарных, ограниченных по времени наблюдения, дискретизированных случайных биомедицинских измерительных сигналов. Определены параметры ( $N$ ,  $n$ ,  $r$ ) плана эксперимента при заданном диагностическом риске  $\alpha$  первого рода.

2. Доказана эффективность использования  $V$ -статистики скользящего дифференцирования для получения дополнительной диагностической информации в активных экспериментах по химическому индуцированию спонтанных сокращений мочеоточника и в пассивных экспериментах по выявлению кардиодинамических нарушений при закрытой травме грудной клетки.

### Литература

- Щапов, П. Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределённости [Текст]: монография / П. Ф. Щапов, О. Г. Аврунин. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 191 с.
- Замятин, П. Н. Применение многопараметровых моделей динамического контроля для обнаружения патологических изменений при осложнениях политравмы с использованием априорно нестационарных сигналов измерительной информации [Текст] / П. Н. Замятин, П. Ф. Щапов, Д. В. Сафронов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – Т. 10, № 4. – С. 50–53. – Режим доступа: [http://www.nbu.gov.ua/old\\_jm/natural/Vejpt/2004\\_4/EEJET\\_4\\_2004\\_50-53.pdf](http://www.nbu.gov.ua/old_jm/natural/Vejpt/2004_4/EEJET_4_2004_50-53.pdf)
- Басвиль, М. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем [Текст] / М. Басвиль, А. Вилски; пер. с англ. под ред. М. Басвиля, А. Банвениста. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
- Бойко, В. В. Анализ клинических данных в медицинских исследованиях на основе методов вычислительного интеллекта [Текст]: монография / В. В. Бойко, Е. В. Бодянский, Е. А. Винокурова и др. Х.: ТО Эксклюзив, 2008. – 120 с.
- Шармазанова, О. П. Визначення діагностичної ефективності сучасних методів візуалізації [Текст] / О. П. Шармазанова, М. О. Бортний, О. В. Волковська,

Н. О. Оборина // Українські медичні вісті. – 2011. – Т. 9, № 1-4. – С. 305–309.

6. Бойко, В. В. Динамика сердечно-сосудистой недостаточности у пострадавших с травматической болезнью [Текст] / В. В. Бойко, П. Н. Замятин, Е. Н. Крутько, В. Н. Лыхман // Медицина неотложных состояний. – 2011. – № 7-8. – С. 141–143.

7. Стажадзе, Л. Л. Информационная ценность ЭКГ у пострадавших с закрытой травмой груди на догоспитальном этапе [Текст] / Л. Л. Стажадзе // Вестн. интенсив. терап. – 2005. – № 2. – С. 51–55.

8. Bektukhambetov, E. Modern problems and prospects of Clinical Medicine, Healthcare and Pharmacy development [Text]: monograph / E. Bektukhambetov, M. Duczmal, P. Zamiatin et. al. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2014.

9. Spatial aspects of socio-economic systems development [Text]: monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2015. – P. 300.

10. Королюк, В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / В. С. Королюк, Н. И. Портенко; под ред. В. С. Королюка. – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с.

11. Biecek, P. Analiza danych z programem R [Text] / P. Biecek. – Wydawnictwo naukowe PWN. – Warszawa, 2012. – 320 p.

12. Замятин, П. Н. Диагностические особенности посттравматической миокардиопатии и закрытой травмы сердца [Текст] / П. Н. Замятин, Р. С. Джаббаров, Т. А. Куценко // Харківська хірургічна школа. – 2006. – № 4. – С. 26–29.

#### References

1. Shchapov, P. F., Avrunyn, O. N. (2011). Povyshenye dostovernosti kontrolya u dyagnostyky obektov v uslovyakh neopredelennosti. Kharkiv: KhNADU, 191.

2. Zamyatyn, P. N., Shchapov, P. F., Safronov, D. V. (2004). Prymenenye mnohoparametrovykh modeley dynamicheskoho kontrolya dlya obnaruzheniya patolohicheskikh

yzmeneniy pry oslozhnenyakh polytravmy s yspolzovanyem apyorno nestatsyonarnykh syhnalov yzmeritel'noy ynformatsyy. Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy, 10 (4), 50–53. Available at: [http://www.nbu.gov.ua/old\\_jrn/natural/Vejpt/2004\\_4/EEJET\\_4\\_2004\\_50-53.pdf](http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Vejpt/2004_4/EEJET_4_2004_50-53.pdf)

3. Basyul', M., Vylsky, A.; Basyulya, M., Banvenysta, A. (Ed.) (1989). Obnaruzhenye yzmeneniya svoystv syhnalov y dynamicheskikh system. Moscow: Myr, 278.

4. Bojko, V. V., Bodjanskij, E. V., Vinokurova, E. A. et. al (2008). Analiz klynicheskikh dannykh v medytsynskikh yssledovaniyakh na osnove metodov vychyslytel'noho yntellekta. Kharkiv: TO Eksklyuzyv, 121.

5. Sharmazanova, O. P., Bortnyy, M. O., Volkov's'ka, O. V., Oborina, N. O. (2011). Vyznachennya diahnostychnoy efektyvnosti suchasnykh metodiv vizualizatsiyi. Ukrayin's'ki medychni visti, 9 (1-4), 305–309.

6. Boyko, V. V., Zamyatyn, P. N., Krut'ko, E. N., Lykhman, V. N. (2011). Dynamyka serdechno-sosudystoy nedostatochnosti u postradavshykh s travmatycheskoy bolezn'yu. Medytsyna neotlozhnykh sostoyaniy, 7-8. 141–143.

7. Stazhadze, L. L. (2005). Ynformatsyonnaya tsnennost' EKH u postradavshykh s zakrytoy travmoy hrudy na dohospytal'nom etape. Vestn. yntensyv. Terapyu, 2, 51–55.

8. Bektukhambetov, E., Duczmal, M., Zamiatin, P. et. al (2014). Modern problems and prospects of Clinical Medicine, Healthcare and Pharmacy development. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole.

9. Spatial aspects of socio-economic systems development (2015). Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 300.

10. Korolyuk, V. S., Portenko, N. Y.; Korolyuka, V. S. (Ed.) (1978). Spravochnyk po teoryi veroyatnostey y matematycheskoy statystyke. Kyiv: Naukova dumka, 584.

11. Biecek, P. (2012). Analiza danych z programem R. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa, 320.

12. Zamyatyn, P. N., Dzhabbarov, R. S., Kutsenko, T. A. (2006). Dyahnostycheskye osobennosti posttravmatycheskoy myokardyopatyy y zakrytoy travmy serdtsa. Kharkiv's'ka khirurhichna shkola, 4, 26–29.

*Дата надходження рукопису 12.11.2015*

**Стецишин Роман Васильевич**, кандидат медицинских наук, доцент, кафедра общей, детской и онкологической урологии, Харьковская медицинская академия последипломного образования, ул. Корчагинцев, 58, г. Харьков, Украина, 61176;

заведующий отделением урологии № 4, Член Международной Ассоциации урологов, Клинический центр урологии и нефрологии «ХОКЦУН», пр. Московский, 195, г. Харьков, Украина, 61037

E-mail: stetsyshyn@email.ua

**Замятин Денис Петрович**, ассистент, кафедра хирургии № 1, Харьковский национальный медицинский университет, пр. Ленина, 4, г. Харьков, Украина, 61022

E-mail: deniszamjatin@gmail.com

**Кропачек Ольга Юрьевна**, доцент, кандидат технических наук, кафедра теоретических основ электротехники, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: kropachek@ukr.net

**Мигущенко Руслан Павлович**, доцент, доктор технических наук, кафедра информационно-измерительных технологий и систем, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: mrp1@bk.ru