

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Е. И. СОКОЛ¹, В. В. БОЙКО², П. Ф. ЩАПОВ¹, П. Н. ЗАМЯТИН², Р. С. ТОМАШЕВСКИЙ^{1*}

¹ Кафедра промышленной и биомедицинской электроники, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

² Институт общей и неотложной хирургии им. В.Т. Зайцева, Харьков, УКРАИНА

*email: tomashevskiy.emb@khpі.edu.ua

АННОТАЦИЯ Представлены результаты сравнительного анализа информационных свойств параметров биоэлектрических измерительных сигналов несущих информацию о биохимических особенностях биологических и химических материалов, подвергаемых динамическому факторному воздействию. Доказана возможность идентификации вида биохимического состояния с учетом заданного риска неправильных решений. Получена методика оценки количества ожидаемой информации для комплексных информативных параметров, позволяющая ранжировать последним по степени убывания этой информации.

Ключевые слова: биологический объект, факторная нагрузка, информативный параметр, динамический эксперимент, уровень значимости.

INFORMATION ANALYSIS OF RANDOM MEASURING SIGNALS IN DYNAMIC BIOPHYSICAL EXPERIMENTS

Е. SOKOL¹, V. BOYKO², P. SHCHAPOV¹, P. ZAMYATIN², R. TOMASHEVSKYI^{1*}

¹ Dept. "Industrial and biomedical electronics", National technical university "Kharkiv Politechnical institute", Kharkiv, UKRAINE

² State Institution "V.T. Zaytsev Institute of General and Urgent Surgery of NAMS of Ukraine", Kharkiv, UKRAINE

*email: tomashevskiy.emb@khpі.edu.ua

ABSTRACT The aim of paper: demonstrate the possibility of factor analysis in the task a comparative selection of informative parameters of random measurement signals which characterizes the inertia of the electrostatic interactions in biological objects under dynamic external load. **Applied methods:** To investigate the changes in the electrical properties of biological and chemical liquid materials were selected three groups of samples with verified chemical and biological conditions. Two gold-plated electrodes were used to measure the electrical potential of the liquid sample, immersed in the test liquid. Pressure change performed by moving the piston in the cylindrical chamber, the bottom of which electrodes are fixed by the difference in the magnitude of their active surface area. The procedure of discrete differentiation process has been proposed for the electrochemical detection of differences of inertia of objects. To determine the number of expected data was used Fischer F-statistics. **The results:** All F-statistics exceed a critical value that shows the ability of informative parameters responsive to changes in its average value by changing the state of the test object (dispersion changes due to the change of the biochemical state of the sample, the mean value of 2 - 9 times the residual variance of the random deviations). **Conclusions:** The possibility of obtaining information to identify the biochemical status of objects, using the results of an active factor of the dynamic experiment, even in the face of random parametric uncertainty of the measurement signals. The method of estimating the amount of the expected information for complex informative parameters, allowing the latter to rank in descending order of this information was obtained.

Keywords: biological object, factor load, informative parameter, dynamic experiment, significance level.

Введение

Любые биологические объекты, особенно на клеточном уровне, энергетически используют силы электростатического взаимодействия. Такое взаимодействие характерно как для химических, так и биологических структур, когда основные свойства объекта проявляются только в динамике. Однако изучение динамических электрофизических свойств биологических объектов – задача исключительно сложная, поскольку измерительные сигналы, несущие информацию о подобных свойствах – это случайные процессы с бесконечным набором проявлений нестационарности.

Выявление закономерностей в таких процессах возможно лишь в условиях динамических факторных воздействий когда обеспечена более или менее стационарная модель ответной реакции биологического объекта [1]. Эффективность подобных исследований тем выше, чем больше информативность используемых измерительных сигналов и чем выше уровень статистического обоснования планов измерительных экспериментов.

К сожалению, использование информационно-статистических подходов к формированию планов динамических испытаний биологических объектов не применяется на практике, а теоретические аспекты их использования не идут дальше задач параметрического оценивания возможных рисков.

Общие задачи планирования динамических экспериментов связаны, в первую очередь, с разработкой общих основ информационно-измерительных технологий контроля [2-5] и информационной теории измерений [6-8]. Методы планирования активных экспериментов и использование случайных моделей факторного влияния хорошо разработаны для общетехнических и научных задач [9]. Информационно-измерительные технологии динамического контроля биофизических свойств сложных биохимических объектов [10] – практически не разработаны.

Цель работы

Цель работы – показать возможности факторного дисперсионного анализа в задаче сравнительного выбора информативных параметров случайных измерительных сигналов, характеризующих инерционность электростатических взаимодействий в биохимических объектах, обусловленных динамическими внешними нагрузками.

Выбор образцов и факторных нагрузок в динамическом биофизическом эксперименте

Для исследования изменений электрофизических свойств биологических и химических жидких материалов были выбраны три группы образцов с верифицированными химическими и биологическими состояниями:

- состояние S_0 (физраствор);
- состояние S_1 (цельная кровь без патологии);
- состояние S_2 (цельная кровь с онкопатологией – колоректальный рак (КРР)).

Объем жидких образцов – 1 см³.

Регулируемая факторная нагрузка $P(t)$ – циклическое изменение во времени давления на образец (до 1 атм).

Случайные нерегулируемые и неконтролируемые факторы (возмущения):

– нестационарность по математическому ожиданию электрохимического дрейфа в процессах формирования биопотенциалов на электродах первичного измерительного преобразователя (вызывает дополнительную аддитивную погрешность преобразования);

– неоднозначность в обеспечении условий строгой (метрологически обоснованной) повторяемости значений предельного атмосферного давления и параметров его изменений во времени (вызывает появление мультипликативных погрешностей в циклах нагрузочного воздействия).

Для измерения электрических потенциалов жидкого образца использовались два позолоченных электрода, погруженных в исследуемую жидкость. Изменение давления осуществлялось за счет перемещения поршня в цилиндрической камере, на

дне которой находились электроды с фиксированным различием в величине площади их активных поверхностей.

Длительность каждого цикла – от 4-х до 5-ти секунд. Типичные зависимости $U(t)$ зарегистрированных во времени t электропотенциалов на электродах первичного измерительного преобразователя для 2-х последовательных циклов изменения атмосферного давления представлена на рис. 1 (сплошная линия – параболический дрейф $\hat{U}(t)$ нулевого значения выходного сигнала первичного преобразователя)

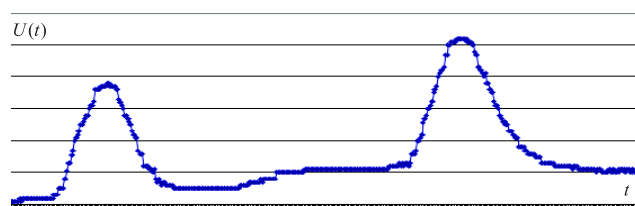


Рис. 1 – Временные зависимости биопотенциала $U(t)$

Выделение информативных параметров измерительного сигнала

Динамичность режимов факторной нагрузки на образец определило выбор информативных параметров, связанных с динамикой зарегистрированных электропотенциалов, с учетом различной электрохимической инерции процессов ионной проводимости образцов при возрастании и убывании нагрузки.

Для выявления таких различий была предложена процедура дискретного (цифрового) дифференцирования процессов $U(t)$ – изменения электропотенциала в рамках одного цикла нагружения.

Для устранения дрейфовой аддитивной погрешности в чувствительности первичного преобразователя была осуществлена процедура центрирования его выходного сигнала [2].

$$\overset{\circ}{U}(t) = U(t) - \hat{U}(t), \quad (1)$$

где $\hat{U}(t)$ – параболическая регрессия, обусловленная дрейфом нулевого значения выходного сигнала преобразователя.

Для уменьшения мультипликативных погрешностей, вызванных неоднородностью условий факторного нагружения, было предложено пронормировать (для каждого цикла нагружения) по максимальному значению U_m центрированный процесс $\tilde{U}(t)$

$$\tilde{U}(t) = \overset{\circ}{U}(t) / U_m. \quad (2)$$

Кроме этого, было предложено сформировать параметры, несущие информацию о виде (S_0 , S_1 или S_2) состояния образца, как параметры комплексные, базирующиеся на отношении показателей, отражающих динамику процесса $\tilde{U}(t)$, (отдельно, при

возрастании и убывании нагрузки $P(t)$). Для выделения таких показателей, каждый из процессов $\tilde{U}(t)$ (в пределах своего цикла) был продифференцирован, что позволило использовать для последующего анализа процессы $V_U(t)$ изменения скорости электропотенциалов во времени:

$$V_U(t) = \frac{d\tilde{U}(t)}{dt} \quad (3)$$

На рис. 2 представлены типичные производные $V_U(t)$ для двух образцов с состояниями S_1 и S_2 .

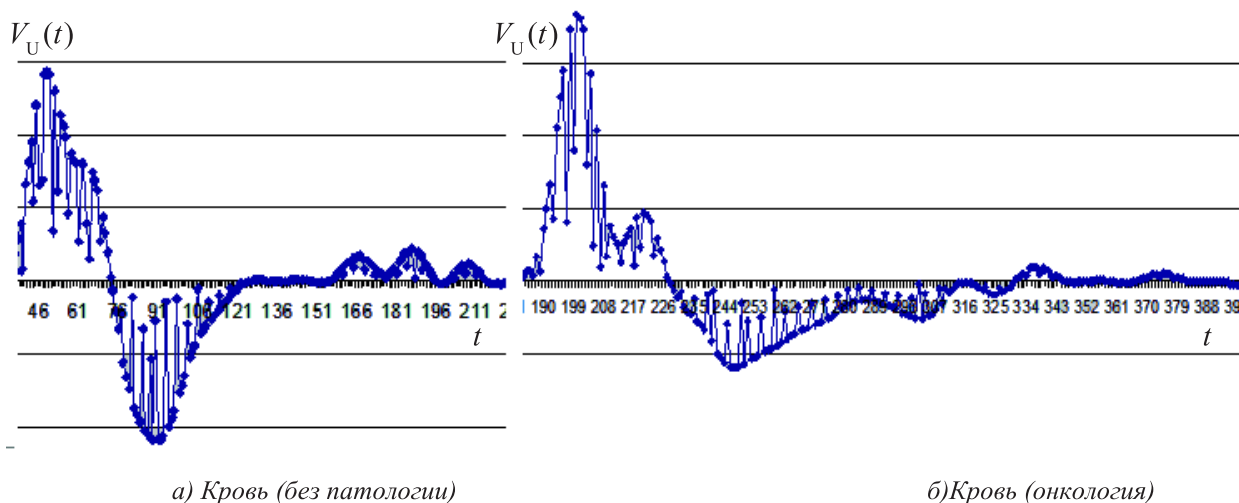


Рис. 2 – Временные зависимости производных биопотенциала

Предварительный анализ полученных процессов $V_U(t)$ для состояний S_0 , S_1 и S_2 показал следующее. Независимо от цикла и вида состояния положительный максимум V_{max} больше (по абсолютному значению), чем отрицательный минимум V_{min} в процессе $V(t)$.

Вторая производная процесса $\tilde{U}(t)$

$$a(t) = \tilde{U}''(t) = \frac{dV_U(t)}{dt} \quad (4)$$

имеет большее число пересечений n_2 нулевого уровня для отрицательных значений $V(t)$, чем число n_1 пересечений для положительных значений $V(t)$. Более того, для состояния S_0

$$n_1 = n_2, \quad (5)$$

а для состояний S_1 и S_2

$$n_1 > n_2 \quad (6)$$

Если же сравнить число n_2 для состояния S_1 (обозначим как $n_1^{(2)}$) и для состояния S_2 (обозначим как $n_2^{(2)}$), то

$$n_1^{(2)} > n_2^{(2)}. \quad (7)$$

Все процессы $U(t)$, независимо от номера цикла и вида состояния – асимметричны, причем при переходе от состояния S_0 к S_1 и от S_1 к S_2 асимметрия только растет (время затухания процесса $V_U(t)$, от V_{min} до нуля увеличивается при одновременном увеличении числа n_2 пересечений нуля во второй производной $a(t)$).

Результаты предварительного анализа позволяют выделить, как минимум, три информативных параметра, в дальнейшем

обозначаемые, как Y_1 , Y_2 и Y_3 , определяемые логическим условием:

$$V_U(t) \neq 0 \quad (8)$$

отрицательности или положительности скорости $V_U(t)$, при сравнения её геометрических особенностей на разных интервалах временной оси. Последнее позволяет представлять эти параметры как относительные и безразмерные.

В качестве информативного (в отношении биохимического состояния) параметра Y_1 , косвенно связанного с квантовыми эффектами электропотенциальных преобразований, была выбрана функция, зависящая от глобальных и локальных экстремумов V_{Umax} , V_{Umin} , \bar{V}_{Umin} скорости $V_U(t)$ при нагружении ($V_U(t) > 0$) и разгрузке ($V_U(t) < 0$) образца:

$$Y_1 = F(V_{Umax}, V_{Umin}, \bar{V}_{Umax}, \bar{V}_{Umin} / V_U(t) \neq 0) \quad (9)$$

В качестве параметров, несущих информацию о биохимическом состоянии с учетом непосредственно квантовых эффектов, были выбраны параметры Y_2 и Y_3 :

Y_2 – функция, зависящая от средневзвешенного отношения числа ступенек процесса $V_U(t)$ для областей где $V_U(t) < 0$ и $V_U(t) > 0$;

$$Y_2 = F(n_1, n_2 / V_U(t) \leq 0). \quad (10)$$

Y_3 – функция, зависящая от средневзвешенных фазовых сдвигов ступенек $\bar{\tau}_1$ и $\bar{\tau}_2$ относительно точки $V_U(t_0) > 0$, для областей $V_U(t) < 0$ и $V_U(t) > 0$.

$$Y_3 = F(\bar{\tau}_1, \bar{\tau}_2 / V_U(t) \leq 0). \quad (11)$$

Дисперсионный анализ результатов динамического эксперимента

Независимо от вида (Y_1 , Y_2 или Y_3) информативного параметра следует учитывать следующее:

а) любой из параметров Y_m , $m = 1, 2, 3$ является случайной величиной (из-за наличия внешних и внутренних возмущающих случайных факторов).

б) каждому из состояний S_0 , S_1 или S_2 соответствуют свои наборы числовых характеристик для случайных величин Y_m (средние значения, дисперсии, коэффициенты асимметрии и эксцесса и т.п.).

в) ограниченность экспериментальных данных (малое число образцов с известными, т.е. верифицированными состояниями позволяет использовать в качестве источника информации только среднее значение анализируемых параметров Y_1 , Y_2 или Y_3 . Дисперсия и моменты, более высоких порядков требуют больших выборок.

Удобной математической моделью информационного исследования, в этом случае, является однофакторная параметрическая модель, дисперсионного анализа [9] позволяющая:

1. Оценить статистическую значимость изменений среднего значения любого из параметров Y_1 , Y_2 или Y_3 при переходе из группы образцов с состоянием S_j к образцам с состоянием S_k , $j \neq k$. причем такая оценка учитывает дисперсию результатов измерения значений исследуемого параметра.

2. Оценить количество информации для любого из параметров Y_1 , Y_2 , Y_3 по тестовой F-статистике [3, 5].

$$I = 0.5 \ln(1 + F) \quad (\text{бит}). \quad (12)$$

Влияющим фактором, в рамках дисперсионного анализа, является вид состояния: S_0 , S_1 или S_2 . Качество анализа гарантируется заданным риском первого рода (уровнем значимости $\alpha = 0,05$).

Для анализа были использованы результаты испытаний исследуемых групп образцов ($K = 3$):

– физраствор (состояние S_0 – 8 образцов);

– кровь (состояние S_1 – 5 образцов);

– кровь (состояние S_2 – 5 образцов).

Общее число образцов во всех исследуемых группах составило $N = 18$, а число образцов по группам – соответственно, $N_1 = 8$; $N_2 = N_3 = 5$.

Независимо от вида (Y_1 , Y_2 , Y_3) информативного параметра, результат его измерения в эксперименте представим как y_{ji} , где $j = 1..K$; $i = 1..N_j$. Статистическая модель такого результата будет иметь вид [9]:

$$y_{ji} = \bar{Y} + \rho_j + z_{ji} \quad (13)$$

где \bar{Y} – общее среднее значение всех N результатов; ρ_j – отклонение, обусловленное влиянием основного фактора (атмосферное давление); z_{ji} – случайное остаточное отклонение модели (13), обусловленное влиянием неконтролируемых и нерегулируемых возмущающих факторов.

Если обозначить через \bar{Y}_j – среднее для результатов в j - той группе измерений, то уравнения дисперсионного разложения примет вид:

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} (y_{ji} - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^K N_j (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 + \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} (y_{ji} - \bar{Y}_j)^2. \quad (14)$$

Критериальная F-статистика, как случайная величина, имеющая F-распределение Фишера – Снедекора [9] с двумя степенями свободы $V_1 = K-1 = 2$ и $V_2 = N-K = 15$ запишется в виде отношения:

$$F_{2;15} = \frac{\sum_{j=1}^K N_j (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} (y_{ji} - \bar{Y}_j)^2} \cdot \left(\frac{V_2}{V_1} \right). \quad (15)$$

В таблице 1 представлены:

– результаты вычисления по формулам (9), (10), (11) значений информативных параметров по группам образцов с состояниями S_0 , S_1 и S_2 ;

– значения критериальных F-статистик, вычисленных по формуле (15). Величина критической F-статистики, для уровня значимости $\alpha = 0,05$, равняется

$$F_{кр} = F_{2;15;\alpha} = 3,68,$$

где $V_1 = 2$, а $V_2 = 15$.

Таблица 1 – Значения информативных параметров по видам состояний и величины их F-статистик

| Информативный параметр | Состояние образца | Значения информативных параметров для одиночных образцов | | | | | | | | F-статистика, $F_{2;15}$ |
|------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
| | | S_0 | S_1 | S_2 | S_0 | S_1 | S_2 | S_0 | S_1 | |
| Y_1 | S_0 | 1,095 | 1,364 | 1,333 | 1,652 | 1,227 | 1,111 | 1,318 | 1,292 | 6,32 |
| | S_1 | 1,0 | 1,0 | 1,34 | 1,41 | 1,0 | – | – | – | |
| | S_2 | 2,433 | 2,673 | 2,659 | 1,238 | 1,152 | – | – | – | |
| Y_2 | S_0 | 1,667 | 2,0 | 4,25 | 2,0 | 1,667 | 1,1 | 1,444 | 1,444 | 12,31 |
| | S_1 | 2,182 | 2,0 | 4,333 | 3,19 | 2,125 | – | – | – | |
| | S_2 | 4,01 | 9,8 | 4,75 | 8,8 | 4,72 | – | – | – | |
| Y_3 | S_0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32,98 |
| | S_1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | S_2 | 6 | 7 | 5 | 4 | 3 | – | – | – | |

Из таблицы 1 следует, что максимально информативным является параметр Y_3 (его F-статистика равна 32,98). Следующим по информационной значимости является параметр Y_2 ($F_{2;15} = 12.31$) на последнем месте стоит параметр Y_3 (его F-статистика равна 6.32).

Все F-статистики превышают критическое значение $F_{кр} = 3.68$ что указывает на способность информативных параметров Y_1, Y_2 и Y_3 реагировать на изменение своего среднего значения при смене состояния объекта испытаний (дисперсия изменения, из-за смены биохимического состояния образца, среднего значения \bar{Y}_j в 2-9 раз больше остаточной дисперсии случайных отклонений z_{ji}). В табл. 2 представлены вычисленные по формуле (12) значения количества информации (в бит) для каждого из исследованных параметров.

Таблица 2 – Количества ожидаемой информации (в натуральных единицах информации) по видам информативных параметров

| Информативный параметр | Количество информации (бит) |
|------------------------|-----------------------------|
| Y_1 | 0,995 |
| Y_2 | 1,294 |
| Y_3 | 1,763 |

Обсуждение результатов

Для оценки информационной независимости параметров Y_1, Y_2 и Y_3 были рассчитаны элементы их взаимных, по полному множеству параметров, корреляционных матриц. Для расчета использовались первые пять столбцов «значения информативных параметров для одиночных образцов» табл. 1 ($N_1 = N_2 = N_3 = n = 5$) и два состояния S_1 и S_2 . Полученные матрицы для наборов состояний $\{S_1, S_1\}$ и $\{S_2, S_2\}$ имеют следующий вид:

$$R_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0,529 & 0,709 \\ 0,529 & 1 & 0,511 \\ 0,709 & 0,511 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_{22} = \begin{bmatrix} 1 & 0,187 & -0,023 \\ 0,187 & 1 & 0,124 \\ -0,023 & 0,124 & 1 \end{bmatrix}.$$

Если рассматривать в качестве основной гипотезы (о независимости Y_1, Y_2 и Y_3)

$$H_0: R_{11} = 0; R_{22} = 0,$$

то критериальная F-статистика для любого из элементов матриц R_{11} или R_{22} с корреляцией R имеет вид

$$F_{1;(n-2)} = \frac{R^2}{(1-R^2)} \cdot (n-2). \quad (16)$$

Поскольку при уровне значимости $\alpha = 0,05$ критическая статистика для проверки справедливости гипотезы H_0 равна

$$F_{кр} = F_{1;3} = 10,13, \quad (17)$$

то условием справедливости гипотезы H_0 является

$$F_{1;(n-2)} < F_{кр}, \quad (18)$$

или идентичное, с учетом выражений (16) – (18), условие

$$R = 0,878. \quad (19)$$

Так как все элементы (кроме диагональных) матриц R_{11} и R_{22} удовлетворяют условию (19), то гипотеза H_0 – не отвергается, т.е. информативные параметры Y_1, Y_2 и Y_3 являются взаимно-независимыми.

Это указывает на возможность формального суммирования информации, полученной по каждому из параметров, объединяя последние в интегральный параметр, например, в рамках линейно-аддитивных моделей функционального преобразования [11]. Даже если и существует корреляция между параметрами Y_1, Y_2 и Y_3 , то эта корреляция меньше единицы, что указывает на возможность получения дополнительной информации по интегральному информативному параметру.

Выводы

Доказана возможность получения информации для идентификации состояния биохимических объектов, используя результаты активного факторного динамического эксперимента, даже в условиях параметрической неопределенности случайных измерительных сигналов.

Получена методика оценки количества ожидаемой информации для комплексных информативных параметров, позволяющая ранжировать последним по степени убывания этой информации.

Показаны возможности многомерного статистического анализа для повышения информационной эффективности методов оптимального параметрического синтеза систем контроля, диагностики, идентификации биохимических объектов в условиях априорной неопределенности их свойств и состояний.

Список литературы

- 1 **Бойко, В. В.** Концептуальные аспекты гипербиотических процессов в биологических тканях / **В. В. Бойко, П. М. Замятин, В. И. Жуков** и др. // *Modern problems and prospects of Clinical Medicine, Healthcare and Pharmacy development.* – 2014. – № 43(4). – С. 214-235.
- 2 **Малайчук, В. П.** Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: [навчальний посібник] / **В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко.** – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ. – 2001. – 2001 с.
- 3 **Малайчук, В. П.** Обработка многомерных нестационарных случайных пространственно-временных рядов в задачах мониторинга / **В. П.**

- Малайчук, А. В. Мозговой** // *Методи та прилади контролю якості*. – Івано-Франківськ. – 2005. – № 15 – С. 90-93.
- 4 **Володарський, Є. Т.** Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / **Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк** – Вінниця: Велес. – 2001. – 219 с.
- 5 **Бочаров, В. М.** Математические алгоритмы технического диагностирования / **В. М. Бочаров, А. Н. Головаш, В. Г. Шахов** // *Контроль. Диагностика*. – 2007. – №8 (110). – С. 48-51.
- 6 **Орнатский, П. П.** Теоретические основы информационно-измерительной техники / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа. – 1983. – 455 с.
- 7 **Щапов, П. Ф.** Оптимизация пространства информационных параметров на основе ковариационных моделей дисперсионного анализа / **П. Ф. Щапов** // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2005. – №2. – С. 59-62.
- 8 **Назаренко, Л. А.** Статистические методы анализа неопределенности результатов косвенных измерений / **Л. А. Назаренко, П. Ф. Щапов** // *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. – Х.: Харківський університет повітряних сил. – 2007. – Вип.6(64). – С. 71-73.
- 9 **Джонсон, Н.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / **Н. Джонсон, Ф. Лион**; пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Мир. – 1981. – 520 с.
- 10 **Зайченко, К. В.** Съём и обработка биоэлектрических сигналов: [учеб. пособие / под ред. К.В. Зайченко.] – С.Пб.: СПбГУАП. – 2001. – 140 с.
- 11 **Щапов, П. Ф.** Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределенности: монография / **П. Ф. Щапов, О. Г. Аврунин**. – Харьков: – Х.: ХНАДУ. – 2011. – 191 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Boyko, V. V.** Conceptual aspects of giperbiotik processes in biological tissues / **V. V. Boyko, P. M. Zamyatin, V. I. Zhukov** and others // *Modern problems and prospects of Clinical Medicine, Healthcare and Pharmacy development*. 2014, **43(4)**, 214-235.
- 2 **Malajchuk, V. P.** Information and measuring technologies of nondestructive testing: [textbook] / **V. P. Malajchuk, O. V. Mozgovej, O. M. Petrenko**. Dnipropetrovsk: RVV DNU, 2001, 2001 p.
- 3 **Malajchuk, V. P., Mozgovej, A. V.** Processing of multidimensional non-stationary random space-time series in the monitoring tasks. *The methods and quality control devices*. Ivano-Frankivsk, 2005, **15**, 90-93.
- 4 **Volodarskij, E. T., Kuharchuk, V. V., Podzharenko, V. O., Serdjuk, G. B.** Measurement software measurement and control: [textbook]. Vinnicja: Veles, 2001, 219 p.
- 5 **Bocharov, V. M., Golovash, A. N., Shahov, V. G.** Mathematical algorithms of technical diagnosing. *Control. Diagnostics*. 2007, **8(110)**, 48-51.
- 6 **Ornatskij, P. P.** Theoretical foundations of information and measurement technology. Kyiv: Vishha shkola, 1983, 455 p.
- 7 **Shchapov, P. F.** Optimization of space information parameters based on analysis of variance covariance models. *Electronics and electrical engineering*. 2005, **2**, 59-62.
- 8 **Nazarenko, L. A., Shchapov, P. F.** Statistical methods for the analysis of the uncertainty of indirect measurements. *Information processing systems: scientific research journal*. Kharkiv: Kharkiv universitet povitrijanij sil, 2007, **6(64)**, 71-73.
- 9 **Jonson, N., Lion, F.** Statistics and experimental design in engineering and science: Methods of experiment planning. Moscow: Mir, 1981, 520 p.
- 10 **Zajchenko, K. V.** Processing of bioelectric signals: [textbook] – SanktPiterburg: SPBGUAP, 2001, 140 p.
- 11 **Shchapov, P. F., Avrunin, O. G.** Increasing the reliability of the control and diagnostic facilities in the face of uncertainty: monograph. Kharkiv: HNADU, 2011, 191 p.

Сведения об авторах (About authors)

Сокол Евгений Иванович – член-корреспондент НАН Украины, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры промышленной и биомедицинской электроники; г. Харьков, Украина; e-mail: sokol@kpi.kharkov.ua.

Sokol Evgen – Doctor of science, Professor, Department “Industrial and biomedical electronics”, National technical university “Kharkiv Politechnical institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: sokol@kpi.kharkov.ua.

Бойко Валерий Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, Институт общей и неотложной хирургии им. В.Т. Зайцева, г. Харьков, Украина; e-mail: ssvnauka@tns.kharkov.ua .

Boyko Valeriy – Doctor of medicine, Professor, State Institution “V.T. Zaytsev Institute of General and Urgent Surgery of NAMS of Ukraine”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: ssvnauka@tns.kharkov.ua.

Щапов Павел Федорович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры промышленной и биомедицинской электроники; г. Харьков, Украина.

Shchapov Pavel – Doctor of science, Professor, Department “Industrial and biomedical electronics”, National technical university “Kharkiv Politechnical institute”, Kharkiv, Ukraine.

Замятин Петр Николаевич – доктор медицинских наук, профессор, Институт общей и неотложной хирургии им. В.Т. Зайцева, г. Харьков, Украина; e-mail: zamyatinp@mail.ru

Zamyatin Petr – Doctor of medicine, Professor, State Institution “V.T. Zaytsev Institute of General and Urgent Surgery of NAMS of Ukraine”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: zamyatinp@mail.ru

Томашевский Роман Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники; г. Харьков, Украина; e-mail: tomashevskiyi.emb@kpi.edu.ua.

Tomashevskiy Roman – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department “Industrial and biomedical electronics”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: tomashevskiy.emb@khpі.edu.ua.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Сокол, Е. И. Информационный анализ случайных измерительных сигналов в динамически активных биофизических экспериментах / **Е. И. Сокол, В. В. Бойко, П. Ф. Щапов, П. Н. Замятин, Р. С. Томашевский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 80-86. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.12.

Please cite this article as:

Sokol, E., Boyko, V., Shchapov, P., Zamyatin, P., Tomashevskiy, R. Information analysis of random measuring signals in dynamic biophysical experiments. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25**(1197), 80-86, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.12.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сокол, Е. І. Інформаційний аналіз випадкових вимірювальних сигналів в динамічно активних біофізичних експериментах / **Е. І. Сокол, В. В. Бойко, П. Ф. Щапов, П. Н. Замятін, Р. С. Томашевський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 80-86. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.12.

АНОТАЦІЯ Наведені результати порівняльного аналізу інформаційних властивостей параметрів біоелектричних вимірювальних сигналів несучих інформацію про біохімічні особливості біологічних і хімічних матеріалів, що піддаються динамічному факторному впливу. Доведено можливість ідентифікації виду біохімічного стану з урахуванням заданого ризику неправильних рішень. Отримано методика оцінки кількості очікуваної інформації для комплексних інформативних параметрів, що дозволяє ранжувати останнім за рівнем зменшення цієї інформації.

Ключові слова: біологічний об'єкт, факторна навантаження, інформативний параметр, динамічний експеримент, рівень значущості.

Поступила (received) 08.06.2016