

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/article_5a1c06e01f3367.61532468

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

В.Г. ПОЛОСИН

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», ул. Красная, 40, Пенза, Россия, 440026, e-mail: physics@pnzgu.ru

Аннотация. Создание новых моделей и подходов в описании процессов сердечных сокращений связано с изучением биофизических процессов, происходящих в миокарде. Очевидно, совершенствование технологий определило развитие миниатюрных устройств регистрации физиологических параметров человека, способных совместно с мобильными вычислительными устройствами организовать непрерывный мониторинг электрокардиосигнала и контроль электрофизиологических характеристик сердца при повседневной деятельности за пределами клиники. В работе представлена концепция стохастического мониторинга состояния сердца по электрофизиологическим характеристикам. Рассмотрен алгоритм стохастического мониторинга таких процессов. Рассмотрены эквипотенциальные кривые для аппроксимирующих распределений.

Ключевые слова: сердце, параметры, системный анализ и синтез, энтропия.

BIOPHYSICAL BASES OF MODELING OF THE PULSE

V.G. POLOCIN

Penza State University, Krasnyi str, 40, Penza, Russia, 440026, e-mail: physics@pnzgu.ru

Abstract. The development of new models and approaches in description of the processes of heart rate is associated with the study of biophysical processes in the myocardium. It is evident improvement of technologies results in development of miniature devices of registration of physiological parameters of a person; it becomes possible in conjunction with mobile computing devices to organize continuous monitoring of electrocardiogram signals and control of electrophysiological characteristics of the heart in daily activities outside the clinic. The paper presents the concept of stochastic monitoring of the heart condition by electrophysiological characteristics. The algorithm is stochastic monitoring of such processes. Considered equipotential curves for approximating distributions.

Key words: heart, parameters, system analysis and synthesis, entropy.

Введение. Для современной кардиологии актуально направление разработки методов и средств неинвазивной ЭКГ диагностики, не травмирующих пациента при обследовании, и предоставляющих объективные количественные данные о развитии заболевания. Существующие методы требуют совершенствования диагностики состояния сердца в условиях свободной двигательной активности. Предлагается выявление новых симптомов *сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ)* на основе вероятностного подхода и стохастического моделирования

электрокардиограмм (ЭКГ) сердца, расширяющих возможности методов неинвазивной диагностики по результатам обследования электрокардиосигналов (ЭКС). Для решения задачи необходимо представлять механизмы генерации ЭКГ, что и выполнено в настоящем сообщении.

Цель исследования состоит в *улучшении диагностических* возможностей систем мониторинга и создании методологии *получения диагностической информации на основе реализации вероятностной обработки электрокардиосигнала* в пространстве энтропийно-параметрического потенциала.

1. Элементы биофизики сердечных сокращений. В работах Анищенко В.С. показано, что сердце имеет одновременно два свойства: детерминированная упорядоченность (последовательность) процессов сокращения и хаотичность сопряжённых автоволновых процессов. Наличие заболеваний изменяет свойства проводящих тканей сердца и, как следствие, может возникать детерминированный хаос внутренних процессов. Очевидно, что характеристики хаоса содержат ценную информацию о внутренней структуре сердца и являются устойчивыми диагностическими оценками его состояния. Однако проблема хаоса ЭКГ не является тривиальной [2-9].

Подсистемы, взаимодействие которых обусловлено термодинамическими законами, выделены в отдельную термодинамическую систему сердца, что позволяет рассматривать электрический ток в тканях организма как результат термодинамических процессов, происходящих в тканях сердца. В практике

мониторинга и контроля для оценки неопределённости данных находят применение энтропийные оценки ЭКС: коэффициент энтропии, предложенный ранее в работах Новицкого П.В., и энтропийный потенциал, развитый в работах Лазарева В.Л. для применения в системах мониторинга и контроля. Недостаток систем контроля, основанных на минимизации энтропийного потенциала, заключается в возможности самопроизвольного перехода системы в состояние с низким коэффициентом энтропии за счёт изменения формы распределения [7,8,20-23].

Имеются характерные зависимости составляющих токов, полученных для различных детальнейших моделей и подтвержденные результатами электрофизиологических исследований (ЭФИ). В таблице 1 приведены диаграммы, полученные при моделировании с помощью детальнейших моделей формы составляющих ионных токов.

Таблица 1

Формы составляющих ионных токов при моделировании с помощью детальнейших моделей

Ток модели	model Priebe–Beuckelmann (PB)	model Luo–Rudy (LRd)	model Tusscher–Noble–Noble–Panfilov (TNNP)
Состав токов модели	$I_{Na}, I_{to}, I_{Kr}, I_{Ks}, I_{K1}, I_{NaK}, I_{NaCa}$	$I_{Na}, I_{to}, I_{Kr}, I_{Ks}, I_{K1}, I_{Ca,L}, I_{Ca,T}$	$I_{Na}, I_{to}, I_{Kr}, I_{Ks}, I_{K1}, I_{Ca,L}, I_{Ca,T}$
Входящий ток кальция $I_{Ca,L}$			
Ток калия задержанного быстрого выпрямления I_{Ks}			
Ток калия задержанного медленного выпрямления I_{K1}			
Число переменных	22	20	17

В таблице 1 даны обозначения I_{Na} – входящий натриевый ток; $I_{Ca,L}$ – входящий ток кальция L -типа; $I_{Ca,T}$ – входящий ток кальция T -типа; I_f – пейсмекерный ток; I_{to} – транзитный ток; I_{Kr} – ток калия задержанного быстрого выпрямления; I_{Ks} – ток калия задержанного медленного выпрямления; I_{K1} – ток калия аномального выпрямления.

Все модели *электрической активности сердца* (ЭАС) в виде ЭКС разделяются на два типа: концептуальные и детальные модели. Недостаток концептуальных моделей состоит в том, что эти модели направлены только на *качественное* описание отдельного свойства, что не позволяет восстановить форму трансмембранного потенциала и учесть причины изменения ЭАС. Детальные модели основаны на вероятностном моделировании отдельной белковой структуры, что делает модели громоздкими и ограничивает их использование в функциональной диагностике при хаотическом изменении свойств тканей сердца. Это тоже усложняет практическое применение таких моделей в клинических исследованиях [1-8].

2. Обобщенная концепция мониторинга ЭКС. Вероятностная концепция контроля термодинамической активности сердца по хаотичности изменения потенциалов ЭКС реализована в системе стохастического мониторинга состояния и ЭФХ сердца. Концепция направлена на решение проблемы совершенствования методов и средств неинвазивной кардиодиагностики. Для этого на основе выделения составных частей проблемы проработаны три составляющие концепции стохастического мониторинга состояния и ЭФХ сердца и предложены методы решения. Перспективы применения концепции в области диагностики ЭКС иллюстрируют способы выделения новой диагностической информации ЭКС, мониторинга состояния и ЭФХ сердца, основанные на энтропийно-параметрическом анализе. Содержание

концепции иллюстрирует рисунок 1.



Рис. 1. Концепция стохастического мониторинга состояния и электрофизиологических характеристик сердца

3. Энтропийный подход в оценке ЭФХ сердца. Традиционно для оценки уровня хаотичности параметров сердца используется Эвклидова мера, заданная как среднее квадратическое отклонение, в пространстве отсчётов ЭКС.

Мера Шеннона применяется для независимой оценки уровня неупорядоченности ЭКС, заданной как энтропийный потенциал в пространстве информационной энтропии $H(y)$ ЭКС. Синергетическое объединение и использование информационной меры позволило сформировать меру энтропийно-параметрического потенциала (ЭПП), обеспечивающую повышение достоверности при анализе функций и при оценке уровня неупорядоченности ЭКС (хаотичности сердца).

На рисунке 2 приведён разработанный автором алгоритм системы мониторинга, иллюстрирующий последовательность действий при организации мониторинга ЭФХ сердца.



Рис. 2. Алгоритм работы системы стохастического мониторинга состояния и ЭФХ сердца

По мнению автора, отличительными особенностями этого алгоритма являются: определение состояния динамической системы сердца и определение ионных токов эпикарда – дополнительные функциональные возможности систем мониторинга. Поясним это. На рисунке 3 приведены эквипотенциальные кривые и линии для аппроксимирующих распределений при мониторинге состояния динамической системы сердца. В пространстве мер энтропийного потенциала Δ_ϵ и среднего квадратического отклонения σ_A (см. рисунок 3) положение аппроксимирующего распределения с априорно известной формой задано в виде направления линии $L_{apriory}$, для которой тангенс угла наклона равен коэффициенту энтропии K_ϵ . Длины отрезков, отсекаемые на линии распределения и равные мере ЭПП, связаны с параметром масштаба распределения [7,18,20-22].

В пространстве мер энтропийного потенциала и среднего квадратического отклонения (СКО) наилучшей аппроксимации соответствует минимальное расстояние от изображающей точки положения выборки кардиоцикла А до точки В линии $L_{apriory}$. Погрешности применения меры ЭПП, меры Эвклида и меры Шеннона при определении параметров аппроксимирующих распределений равны расстояниям АВ, АС и АД соответственно. Анализ рисунка 3 (см. треугольник АСD, в котором высота АВ, характеризующая меру энтропийно-параметрического потенциала, всегда меньше сторон АД – меры Эвклида и АС – меры Шеннона) показывает, что при коэффициенте энтропии K_ϵ , равном 1, качество выбора аппроксимации при использовании меры энтропийно-параметрического потенциала в любом случае (максимум на 30 %) лучше

применения меры СКО или меры энтропийного потенциала и не превышает 5 % при использовании распределений с коэффициентом энтропии K_ϵ больше 1.

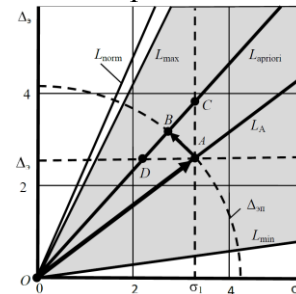


Рис.3. Эквипотенциальные кривые и линии для аппроксимирующих распределений при мониторинге

Другое достоинство применения меры ЭПП состоит в выборе формы функции по значению коэффициента энтропии и определению масштаба, однозначно связанного с мерой ЭПП.

Предложенная мера ЭПП использована для построения контроля неупорядоченности выборки на основе параметров аппроксимирующего распределения посредством минимизации разности между мерами энтропийно-параметрических потенциалов выборки результатов ЭКС и аппроксимируемым распределением. Так как динамическая система сердца находится в области устойчивого стационарного состояния (это наша базовая гипотеза), то она стремится к минимуму продукции энтропии и энергии, что соответствует минимуму ЭПП [7,8].

Сохранение упорядоченности последовательности событий ЭКС обеспечивает сохранение формы распределения значений ЭКС. Искажение формы зубцов, смещений интервалов, изменение их длительности трансформирует состав и видоизменяет форму распределения значений выборки ЭКС. В медицине традиционно для контроля формы распределения используют оценки эксцесса и асимметрии, характеризующие островершинность и симметричность распределения соответственно. Для выявления границ и условий применения моментов μ_s s -го

порядка при анализе формы распределения в работе построен статистический ряд (1) для аппроксимации сортированной последовательности отсчётов ЭКС:

$$u_i = Me(U) + \sigma(U) \frac{\tau_{1/2} - t_i}{\Delta\tau} \cdot \left(1 + \sum_{s=3}^n \left(\frac{\mu_s(U)}{(\mu_2(U))^s} \cdot \frac{(\tau_{1/2} - t_i)^{s-2}}{\Delta\tau^{s-2} \cdot (s-1)!} \right) \right),$$

При разложении до четвёртого момента ряд имеет форму:

$$u_i = Me(U) + \sigma(U) \left(\frac{\tau_{1/2} - t_i}{\Delta\tau \cdot 1!} + As(U) \frac{(\tau_{1/2} - t_i)^2}{\Delta\tau^2 \cdot 2!} + Ex(U) \frac{(\tau_{1/2} - t_i)^3}{\Delta\tau^3 \cdot 3!} \right). \quad (1,2)$$

где $Me(U)$, $\sigma(U)$, $As(U)$ и $Ex(U)$ – медиана, среднее квадратическое отклонение, асимметрия и эксцесс выборки U случайных значений одного цикла ЭКС; $\tau^{1/2}$ – интервал времени, равный половине цикла одного сокращения сердца; $\Delta\tau$ – варьируемый интервал времени.

Качество аппроксимации сортированной последовательности отсчётов ЭКС оценивается по разности аппроксимации сортированных отсчётов с помощью статистического ряда (2) и значений отсчётов [8,20-22].

Нами показано, что многим распределениям соответствуют близкие сортированные ряды отсчётов ЭКС, что затрудняет анализ форм распределений на основе статистических параметров. Дополнительную информацию об упорядоченности состояния объекта содержит информационная энтропия ЭКС. Для оценки формы распределения применяется коэффициент энтропии K_ε , равный отношению энтропийного потенциала к среднему квадратическому отклонению. На рисунке 4 изображены эпюры кривых несимметричных распределений Вейбулла-Гнеденко и Гамма-распределения в пространстве коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса. Из этих эпюр следует, что не различимые в пространстве асимметрии и контрэксцесса распределений Вейбулла-Гнеденко и Гамма-распределения хорошо различимы при использовании коэффициента энтропии.

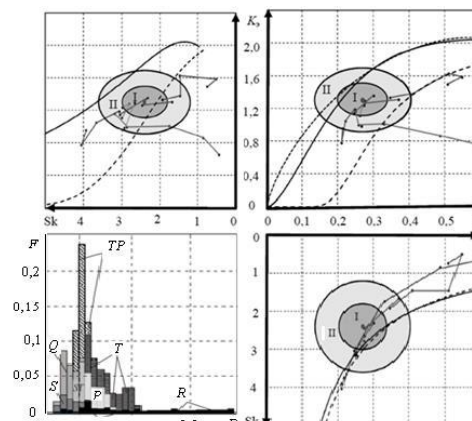


Рис. 4. Энтропийно-параметрический способ анализа заболевания в пространстве коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса

Энтропийно-параметрический критерий оптимального состояния сердца для системы мониторинга ЭКС имеет форму:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{K_\varepsilon - K_{\varepsilon 0}}{a \cdot K_{\varepsilon 0}} \right)^2 + \left(\frac{\kappa - \kappa_0}{b \cdot \kappa_0} \right)^2 + \left(\frac{As - As_0}{c \cdot As_0} \right)^2}, \quad (3)$$

где $K_{\varepsilon 0}$, κ_0 и As_0 – оптимальные коэффициент энтропии, контрэксцесс и асимметрия для здорового состояния сердца; a , b и c – параметры границ зон состояний сердца, K_ε , κ и As и – коэффициент энтропии, контрэксцесс и асимметрия распределения значений исследуемой выборки значений кардиоцикла.

Заключение. Анализ заболеваний в пространстве энтропийного коэффициента, асимметрии и контрэксцесса позволяет реализовать новые функции контроля состояния сердца с помощью минимизации ЭПП. Для нахождения состояния сердца в области оптимальных состояний необходимо чтобы энтропийно-параметрический критерий не превышал некоторого предельного значения: *max*. Например, при нормальной работе сердца перемещение изображающей точки находится в условной области I (см. рисунок 3) и не требует медицинского вмешательства (*health*). Переход в области II соответствует возможному заболеванию сердца (*achy*). Эти участки кардиограммы

содержат диагностическую информацию о состоянии сердца. При наличии патологии заболевания нарушается упорядоченность процессов, что изменяет распределение значений ЭКС. Тогда изображающая точка оказывается за пределами границы условно здорового состояния. Выход за пределы области II (см. рисунок 4) требует немедленного медицинского вмешательства. По направлению смещения изображающей точки состояния человека определяют симптомы и характер заболевания.

Разработанный системный подход к решению проблемы повышения эффективности диагностики заболеваний

сердца в системах стохастического мониторинга состояний и электрофизиологических характеристик сердца объединяет концепцию, методы, способы, алгоритмы, методики, модели и структурно-алгоритмические решения.

Использованы методы математического, компьютерного и имитационного моделирования, методы системного, вероятностного и функционального анализа информации, методы цифровой обработки сигналов. Решение поставленной проблемы предусматривает обобщение основных положений и теоретических основ анализа электрокардиосигнала.

Литература

1. Белощенко Д.В., Якунин В.Е., Потетюрин Е.С., Королев Ю.Ю. Оценка параметров электромиограмм у женщин при разном статическом усилии в режиме повторения // Клиническая медицина и фармакология. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 26-31.

2. Болтаев А.В., Газя Г.В., Хадарцев А.А., Синенко Д.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на хаотическую динамику параметров сердечно-сосудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология человека. – 2017. – № 8. – С. 3-7.

3. Григоренко В.В., Еськов В.М., Лысенкова С.А., Микшина В.С. Алгоритм автоматизированной диагностики динамики возрастных изменений параметров сердечно-сосудистой системы при нормальном старении в оценке биологического возраста // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2017. – Т. 16. – № 2. – С. 357-362.

4. Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Еськов В.М., Вохмина Ю.В. Феномен статистической неустойчивости систем третьего типа – complexity // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. – № 11. – С. 1609-1614.

5. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Теорема Гленсдорфа - Пригожина в описании хаотической динамики тремора при холодном стрессе // Экология человека. – 2017. – № 5. – С. 27-32.

6. Зилов В.Г., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Еськов В.М. Экспериментальные исследования статистической устойчивости выборок кардиоинтервалов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2017. – Т. 164. – № 8. – С. 136-139.

7. Полосин В.Г. Критерии оптимального управления динамической системой / В.Г. Полосин, О.Н. Бодин // Труды МФТИ. – 2015. – Том 7. – № 3 (27). – С. 131-139.

8. Полосин В.Г. Энтропийно-параметрический критерий проверки адекватности модели распределения ионных токов миокарда / В.Г. Полосин, О.Н. Бодин // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22. – № 1. – С. 65-71.

9. Филатова О.Е., Майстренко Е.В., Болтаев А.В., Газя Г.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на динамику сердечно-сосудистых систем работниц нефтегазового комплекса // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – №7. – С. 46-51.

10. Хадарцев А.А., Еськов В.М. Внутренние болезни с позиции теории хаоса и самоорганизации систем (научный обзор) // *Терапевт.* – 2017. – № 5-6. – С. 5-12.

11. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A. and Gavrilenko T.V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // *Doklady Mathematics.* – 2017. – Vol. 95. – No. 1. – Pp. 92–94.

12. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. and Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein // *Biophysics.* – 2017. – Vol. 62. – No. 1. – Pp. 143–150.

13. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // *Biophysics.* – 2017. – Vol. 62. – No. 5. – Pp 809-820.

14. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. N.A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // *Russian Journal of Biomechanics.* – 2017. – Vol. 21. – No. 1. – Pp. 14-23.

15. Eskov V.M., Gudkov A.B., Bazhenova A.E., Kozupitsa G.S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North // *Human Ecology.* – 2017. – No. 3. – Pp. 38-42.

16. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // *Moscow University Physics Bulletin.* – 2017. – Vol. 72. – No. 3. – Pp. 309-317.

17. Filatova D.U., Veraksa A.N., Berestin D.K., Streltsova T.V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // *Human Ecology.* – 2017. – No. 8. – Pp. 15-20.

18. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // *Russian Journal of Biomechanics.* – 2017. – Vol. 21. – No. 3. – P. 224-232.

19. Khadartsev A.A., Nesmeyanov A.A., Eskov V.M., Filatov M.A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // *Integrative medicine international.* – 2017. – Vol. 4. – Pp. 57-65.

20. Polosin V.G. Isoline Drift Correction in Digital Processing of the Electrocardiosignal / V.G. Polosin, O.N. Bodin, A.G. Ivanchukov, F.K. Rahmatullof // *Biomedical Engineering.* – 2016. – Vol. 50. – No. 2. – Pp. 119-123.

21. Polosin V.G. Information & Probability Approach to the Evaluation of Dynamic Heart System / Bodin O.N., Ubiennyh A.G., Arzhaev D.A., Ozhikenov K.A., Bodin A.J. // 18-th International Conference on Micro–Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – 2017. – Pp. 601-604.

22. Polosin V.G. Portable Cardioanalyzer / Bodin O.N., Safronov M.I., Ozhikenov K.A., Zhumagulov A.K., Ubiennyh A.G. // 18-th International Conference on Micro–Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – 2017. – Pp. 605-609.

23. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein // *Bulletin of experimental biology and medicine.* – 2017. – Vol. 1. – Pp. 4-8.

Reference

1. Beloshchenko D.V., Yakunin V.E., Potetyurina E.S., Korolev Yu.Yu. Otsenka parametrov elektromiogramma u zhenshchin pri raznom staticheskom usilii v rezhime povtoreniya [Assesment of electromyograms parameters in women with different static physical loads during repetitions] // *Klinicheskaya meditsina i farmakologiya.* – 2017. – T. 3. – № 1. – S. 26-31.

2. Boltaev A.V., Gazya G.V., Khadartsev A.A., Sinenko D.V. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh polei na khaoticheskuyu dinamiku parametrov serdechno-sosudistoi sistemy rabotnikov neftegazovoi otrasli [The electromagnetic fields effect on chaotic dynamics of cardiovascular system parameters

of workers of oil and gas industry] // *Ekologiya cheloveka*. – 2017. – № 8. – S. 3-7.

3. Grigorenko V.V., Eskov V.M., Lysenkova S.A., Mikshina V.S. Algoritm avtomatizirovannoi diagnostiki dinamiki vozrastnykh izmenenii parametrov serdechno-sosudistoi sistemy pri normal'nom starenii v otsenke biologicheskogo vozrasta [The algorithm of automated diagnostics of the dynamics of age-related changes of parameters of the cardiovascular system in normal aging in the assessment of biological age] // *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. – 2017. – T. 16. – № 2. – S. 357-362.

4. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Es'kov V.M., Vokhmina Yu.V. Fenomen statisticheskoi neustoichivosti sistem tret'ego tipa – complexity [Static instability phenomenon in type-three secretion systems: complexity] // *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. – 2017. – T. 87. – № 11. – S. 1609-1614.

5. Eskov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Teorema Glensdorfa - Prigozhina v opisani khaoticheskoi dinamiki tremora pri kholodovom stresse [Glansdorff-Prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress] // *Ekologiya cheloveka*. – 2017. – № 5. – S. 27-32.

6. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Eskov V.M. Eksperimental'nye issledovaniya statisticheskoi ustoichivosti vyborok kardiointervalov [The absence of statistical stability in rr-intervals of human body] // *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny*. – 2017. – T. 164. – № 8. – S. 136-139.

7. Polosin V.G. Kriterii optimal'nogo upravleniya dinamicheskoi sistemoi / V.G. Polosin, O.N. Bodin // *Trudy MFTI*. – 2015. – Tom 7. – № 3 (27). – S. 131-139.

8. Polosin V.G. Entropiino-parametricheskii kriterii proverki adekvatnosti modeli raspredeleniya ionnykh tokov miokarda / V.G. Polosin, O.N. Bodin // *Informatsionnye tekhnologii*. – 2016. – T. 22. – № 1. – S. 65-71.

9. Filatova O.E., Maistrenko E.V., Boltaev A.V., Gazya G.V. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh polei na

dinamiku serdechno-sosudistyykh sistem rabotnits neftegazovogo kompleksa // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. – 2017. – T. 21. – № 7. – S. 46-51.

10. Khadartsev A.A., Es'kov V.M. Vnutrennie bolezni s pozitsii teorii khaosa i samoorganizatsii sistem (nauchnyi obzor) [Internal diseases from the point of the theory of chaos and self-organizing of systems (scientific review)] // *Terapevt*. – 2017. – № 5-6. – S. 5-12.

11. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A. and Gavrilenko T.V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // *Doklady Mathematics*. – 2017. – Vol. 95. – No. 1. – Pp. 92–94.

12. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. and Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein // *Biophysics*. – 2017. – Vol. 62. – No. 1. – Pp. 143–150.

13. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // *Biophysics*. – 2017. – Vol. 62. – No. 5. – Pp. 809-820.

14. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. N.A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // *Russian Journal of Biomechanics*. – 2017. – Vol. 21. – No. 1. – Pp. 14-23.

15. Eskov V.M., Gudkov A.B., Bazhenova A.E., Kozupitsa G.S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North // *Human Ecology*. – 2017. – No. 3. – Pp. 38-42.

16. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // *Moscow University Physics Bulletin*. – 2017. – Vol. 72. – No. 3. – Pp. 309-317.

17. Filatova D.U., Veraksa A.N., Berestin D.K., Streltsova T.V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // *Human Ecology*. – 2017. – No. 8. – Pp. 15-20.

18. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21. – No. 3. – P. 224-232.

19. Khadartsev A.A., Nesmeyanov A.A., Eskov V.M., Filatov M.A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // Integrative medicine international. – 2017. – Vol. 4. – Pp. 57-65.

20. Polosin V.G. Isoline Drift Correction in Digital Processing of the Electrocardiosignal / V.G. Polosin, O.N. Bodin, A.G. Ivanchukov, F.K. Rahmatullof // Biomedical Engineering. – 2016. – Vol. 50. – No. 2. – Pp. 119-123.

21. Polosin V.G. Information & Probability Approach to the Evaluation of Dynamic Heart System / Bodin O.N., Ubiennyh A.G., Arzhaev D.A., Ozhikenov K.A., Bodin A.J. // 18-th International Conference on Micro-Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – 2017. – Pp. 601-604.

22. Polosin V.G. Portable Cardioanalyzer / Bodin O.N., Safronov M.I., Ozhikenov K.A., Zhumagulov A.K., Ubiennyh A.G. // 18-th International Conference on Micro-Nanotechnologies and Electron Devices EDM. – 2017. – Pp. 605-609.

23. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2017. – Vol. 1. – Pp. 4-8.