

DOI: 10.12737/2306-174X-2022-55-66

ОТСУТСТВИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА ЛОРЕНЦА У КАРДИОИНТЕРВАЛОВВ.М. ЕСЬКОВ¹, В.В. ГРИГОРЕНКО², Н.Б. НАЗИНА²¹ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук». Обособленное подразделение «ФНЦ НИИСИ РАН» в г. Сургуте, ул. Базовая, 34, Сургут, Россия, 628400²БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, Россия, 628400

Аннотация. В статье рассматривается исследование и оценка хаотической динамики параметров сложных нестационарных биосистем, и в частности, особый тип хаоса, возникающий в параметрах, которыми эти системы описаны. Под особым типом хаосом понимают существование невозпроизводимых аperiodических режимов в динамических системах: $x(t_0) = var$ и $f(x_i) = var$, при $t \rightarrow \infty$. В отличие от детерминированного хаоса Лоренца, в таких системах не только невозпроизводим процесс, но и никогда невозпроизводимо начальное состояние системы $x(t_0)$. В основе исследования лежит оценка степени хаотичности временных рядов кардиосигналов сердечно-сосудистой системы человека, с использованием методов непараметрической математической статистики (расчет и анализ коэффициентов автокорреляции, построение коррелограмм), методов нелинейной динамики (расчет старшего показателя Ляпунова).

Ключевые слова: нелинейная динамика, старший показатель Ляпунова, анализ временных рядов, коэффициент автокорреляции, коррелограмма.

**THE ABSENCE OF LORENTZ DYNAMIC CHAOS
IN CARDIO INTERVALS**V.M. ESKOV¹, V.V. GRIGORENKO², N.B. NAZINA²¹FGU "Federal Research Center Scientific Research Institute for System Research of the Russian Academy of Sciences", Separate Subdivision of the Federal Scientific Center NIISI RAS in Surgut, 34, Bazovaya Street, Surgut, Russia, 628426²Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, Russia, 628400

Abstract. The given article deals with the study and evaluation of the chaotic dynamics of the complex non-stationary biosystems parameters, a special type of chaos that occurs in the parameters by which these systems are described in particular. A special chaos type is the existence of non-reproducible aperiodic regimes in dynamic systems: $x(t_0) = var$ and $f(x_i)$ at $t \rightarrow \infty$. In contrast to the deterministic chaos of Lorentz, both the process is irreproducible, and the initial state of the system $x(t_0)$ is never reproducible in such systems. The study is based on the assessment of the chaoticity degree of the time series of the human cardiovascular system' cardiac signals, using the methods of nonparametric mathematical statistics (calculation and analysis of autocorrelation coefficients, construction of correlograms), methods of nonlinear dynamics (calculation of the senior Lyapunov exponent).

Keywords: nonlinear dynamics, the leading Lyapunov exponent, time series analysis, autocorrelation coefficient, correlogram.

Введение. Несмотря на значительный прогресс в расширении инструментальных способов неинвазивной диагностики состояний параметров биосистем, идет постоянный поиск повышения информационной отдачи от полученных данных исследований. Актуальной проблемой, на сегодняшний день, является построение эффективных способов и алгоритмов обработки и анализа

параметров биосистем, а также получения более точных и качественных результатов для дальнейшего прогнозирования и оценки функционального состояния организма человека [2-8, 10-18, 24-30, 40-43].

По классификации W. Weaver, предложенной в 1948 году, биосистемы (и в частности, сердечно-сосудистая система) относятся к системам третьего типа (СТТ).

Это динамически изменяющиеся, нестационарные, открытые (подверженные воздействию шумов как внешней, так и внутренней природы) системы, а их параметры строго хаотичны (W. Weaver [47], П.К. Анохин [1] I.R. Prigogine [46]). В отличие от детерминированного хаоса Лоренса, в таких системах не только невозпроизводим процесс, но и никогда невозпроизводимо начальное состояние системы $x(t_0)$.

Оценка состояния СТГ зависит от возможностей количественного описания протекающих процессов в рамках ограниченной информации, в условиях большого количества внешних факторов воздействия, а также индивидуальных особенностей человека (М. Еськов, А.А. Хадарцев, О.Е. Филатова [2, 7-10, 14-30, 31, 37-43]). Основной причиной создания моделей поведение вектора состояния СТГ является именно невозпроизводимость результатов экспериментов. Каждый раз регистрируемые выборки вектора кардиосигнала будут «уникальны» даже при одинаковых условиях эксперимента и более того, уникальностью будет обладать каждый временной участок такого сигнала, регистрируемого при помощи медицинских устройств.

1. Основные методы оценки ССС.

Одним из основных параметров для анализа состояния ССС является кардиосигнал. Кардиосигнал является сигналом нестационарной природы, который изменяется в зависимости от индивидуальных биологических свойств организма конкретного человека. Одним из элементов структуры кардиосигнала является кардиоинтервал (NN-интервал). Кардиоинтервалы (КИ) ССС показывают ритм работы сердца. Нормальным является состояние, при котором интервалы между ударами сердца варьируются, но без значительных отклонений, т.е. примерно равны между собой, а равенство или существенное отклонение от среднего значения кардиоинтервалов свидетельствует о наличии патологии: аритмии, брадикардии (замедление) и тахикардии (учащение) [6, 9-17, 21, 24, 26, 28, 43-45].

Известно, что корреляционную зависимость между последовательными уровнями временного ряда называют автокорреляцией уровней ряда. Количественно ее измеряют с помощью линейного коэффициента корреляции между уровнями исходного временного ряда и уровнями ряда, сдвинутыми на несколько шагов во времени. Коэффициент автокорреляции варьируется в диапазоне от -1 до 1. Чем ближе значение к -1 или 1, тем связь более сильная. Чем ближе к 0, тем связь слабее. Формула для расчета коэффициента корреляции имеет вид:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_j - \bar{x}) * (y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_j - \bar{x})^2 * \sum(y_j - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где $x = x_2, x_3, x_4 \dots x_{j-1}$, а $y = y_1, y_2, y_3 \dots y_j$.

Тогда коэффициент автокорреляции первого порядка имеет вид:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1) * (y_{t-1} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)^2 * \sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y}_2)^2}}, \quad (2)$$

$$\text{где } \bar{y}_1 = \frac{\sum_{t=2}^n y_1}{n-1}; \bar{y}_2 = \frac{\sum_{t=2}^n y_{t-1}}{n-1}.$$

Коэффициент корреляции уровней ряда первого порядка измеряет зависимость между соседними уровнями ряда t и $t-1$, при лаге равном 1. Аналогично рассчитывается коэффициент автокорреляции второго, третьего и более высоких порядков. Число периодов, по которым рассчитывается коэффициент автокорреляции, называется лагом. С увеличением лага число пар значений, параметров уменьшается. Для обеспечения статистической достоверности коэффициентов автокорреляции было принято использование правила «максимальный лаг не должен превышать $\tau = \frac{n}{4}$ » [6, 44, 45].

Геометрический смысл показателей Ляпунова заключается в том, что две точки, начальные значения которых расположены в некоторой окрестности радиуса ε , за определенное время T разбегутся в n -мерный эллипсоид по n главным полуосям и в момент времени t радиусы будут

определяться значениями $\varepsilon e^{\lambda_i t}$, $i = 1 \dots n$. Знак старшего показателя Ляпунова полностью характеризует тип колебаний динамической системы, если он положителен, то это является признаком хаотичности биосистемы. Старший показатель Ляпунова (СПЛ) позволяет идентифицировать тип динамической системы с точки зрения присутствия хаотического поведения, а также способен отражать уровень хаотичности сигнала [13-16]. Для расчета СПЛ в работе используется интерполяционный метод, представленный в работах Беспалова А.В., Поляхова Н.Д. [6, 45].

2. Результаты расчетов коррелограмм.

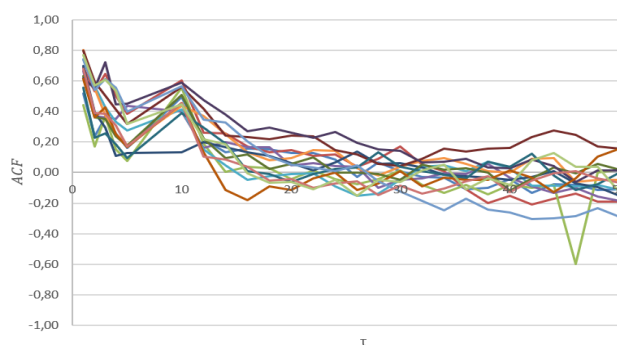


Рис. 1. Коррелограмма временных рядов кардиоинтервала (15 регистраций) обследуемой в состоянии нормогликемии

На рисунках 1-2 видно, что для всех состояний превалирует значение коэффициента корреляции меньше 0,5, что говорит о хаотичности процесса для всех временных рядов кардиоинтервалов. Так же мы визуальнo наблюдаем значительную разницу в форме самой коррелограммы.

В результате проведенных исследований было выявлено и доказано, что кардиоинтервалы имеют особую

Методами непараметрической статистики определялась корреляционная зависимость между последовательными уровнями временного ряда, со сдвинутыми на несколько шагов во времени рядами данных. Для каждой обследуемой число повторов в эксперименте составило 15. Проводились расчеты коэффициента автокорреляции для лагов от 1 до 50 [6]. Пример результата расчета коэффициента автокорреляции с соответствующим ему лагом, а также коррелограмма временных рядов кардиоинтервалов обследуемых в различных функциональных состояниях представлена на рисунках 1-2. По оси абсцисс отложены значения лагов $\tau=50$, по оси ординат – значения коэффициента автокорреляции ACF .

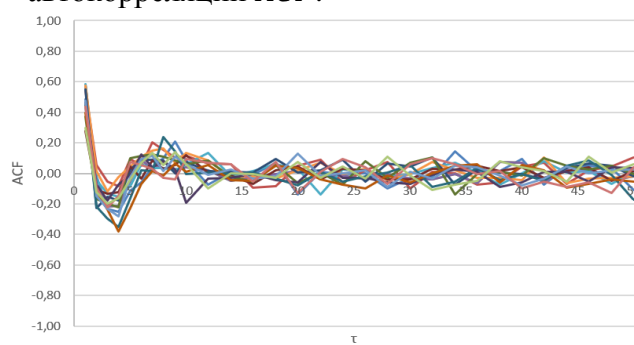


Рис. 2. Коррелограмма временных рядов кардиоинтервала (15 регистраций) обследуемой в состоянии брадикардии

хаотическую структуру временных рядов, а также сильную нелинейную составляющую. При этом рис.1 и рис.2 отличаются по степени разброса вокруг изолинии (ось абсцисс «0»)

На рис. 3 представлены рассчитанные коэффициенты СПЛ для трех человек (обследуемых) в различных функциональных состояниях (15 регистрации кардосигнала).

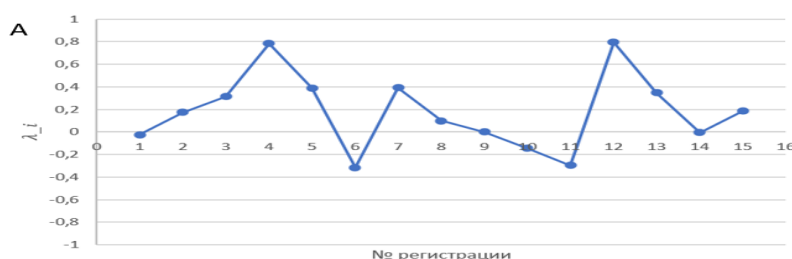


Рис. 3. Расчет СПЛ для временных рядов КИ обследуемой в состоянии нормогликемии

В таблице 1 представлены результаты расчета СПЛ (λ_i) для 15ти повторов регистраций кардиосигналов испытуемых в различных функциональных состояниях, а

также рассчитанные абсолютные (Δ_x) и относительные (ε , %) погрешности.

Таблица 1

Результаты расчета СПЛ (λ_i) для 15-ти повторов регистраций кардиосигналов

| № рег-ии КИ | Нормогенез | | | Брадикардия | | |
|----------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|-------------------|
| | λ_i | Δ_x | ε , % | λ_i | Δ_x | ε , % |
| 1 | -0,0247 | 0,11 | 1,37% | -0,3415 | 0,9798 | 1,03% |
| 2 | 0,1750 | 0,40 | 0,70% | -0,3102 | 0,17 | 0,20% |
| 3 | 0,3131 | 0,71 | 0,70% | -0,1427 | 0,1 | 0,25% |
| 4 | 0,7822 | 0,56 | 0,22% | -0,3354 | 0,26 | 0,28% |
| 5 | 0,3893 | 0,69 | 0,54% | 0,0557 | 0,65 | 4,33% |
| 6 | -0,3144 | 0,13 | 0,13% | -0,1871 | 0,58 | 1,12% |
| 7 | 0,3930 | 0,91 | 0,71% | -0,8426 | 0,76 | 0,32% |
| 8 | 0,0977 | 0,03 | 0,09% | -0,2414 | 0,82 | 1,22% |
| 9 | 0,0012 | 0,39 | 0,00% | 0,1884 | 0,93 | 1,79% |
| 10 | -0,1461 | 0,91 | 1,94% | -0,0940 | 0,4 | 1,54% |
| 11 | -0,2959 | 0,05 | 0,05% | -0,2027 | 0,97 | 1,73% |
| 12 | 0,7939 | 0,41 | 0,16% | -0,0583 | 0,39 | 2,44% |
| 13 | 0,3469 | 0,80 | 0,71% | 0,6189 | 0,9 | 0,52% |
| 14 | -0,0056 | 0,83 | 0,75% | -0,1207 | 0,9 | 2,73% |
| 15 | 0,1859 | 0,98 | 1,63% | 0,3058 | 0,94 | 1,11% |

Как видно из рисунка 3 и таблицы 1, знак старшего показателя Ляпунова все время меняет знак от регистрации к регистрации кардиосигнала, вне зависимости от функционального состояния организма человека, что говорит о хаотической природе процесса работы сердца. Это доказывает отсутствие хаоса Лоренца.

3. Обсуждение. Необходимым условием возникновения хаоса в динамических, нестационарных системах является размерность фазового пространства $N > 3$ (в непрерывном случае). В исследовании количество значений временного ряда КИ варьируется от 290 до 500 в зависимости от функционального состояния обследуемого (брадикардия: $\bar{x} = 280$; нормогенез: $\bar{x} = 300 \sim 350$; тахикардия: $\bar{x} = 500$ и выше).

В результате проведенных исследований было выявлено и экспериментально подтверждено, что кардиосигналы, которыми описана сердечно-сосудистая система человека имеют особую хаотическую структуру и нелинейную тенденцию. Однако хаос Лоренца отсутствует, автокорреляции не

стремятся к нулю. Высокая адекватность аналитических зависимостей в виде полиномиальных функций высокой степени свидетельствует о хаотичности процесса поведения параметров биосистем. Расчет параметров квазиаттракторов для обследуемых с различным состоянием ССС (норма, брадикардия, тахикардия) показал наличие существенного изменения биосистемы, которое можно квалифицировать как нарастание патологического состояния в работе сердца (соблюдается двукратное увеличение значения площади квазиаттрактора от нормы к патологии ССС).

Выводы. Расчет старшего показателя Ляпунова для временных рядов кардиоинтервалов демонстрируем постоянную смену знака, что говорит о наличии статистического хаоса. Наглядно видно, что это не является детерминированным (динамическим) хаосом Лоренца, так как фазовые траектории непрерывно и хаотически пересекаются. В аттракторах Лоренца их пересечение невозможно, так как они всегда расходятся.

Таким образом, представленный в работе стохастический и хаотический

анализ временных рядов кардиоинтервалов ССС человека, позволяет повысить качество диагностики физиологического состояния организма человека и расширить функциональные возможности существующих миниатюрных медицинских приборов кардиодиагностики.

Литература

1. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем. – М., Медицина, 1998. – 285 с.
2. Галкин В.А., Еськов В.В., Пятин В.Ф., Кирасирова Л.А., Кульчицкий В.А. Существует ли стохастическая устойчивость выборок в нейронауках? // Новости медико-биологических наук. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 126-132.
3. Галкин В.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Башкатова Ю.В. Имеется ли хаос в работе сердца? // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 3. – С. 28-39. DOI: 10.12737/2306-174X-2021-24-32
4. Газя Г.В., Еськов В.В., Бодин О.Н., Веденеев В.В. Системный анализ параметров сердечно-сосудистой системы мужчин и женщин Югры // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – № 4. – С. 26-29.
5. Газя Г.В., Еськов В.В. Искусственные нейросети в оценке возрастных изменений // Вестник новых медицинских технологий. – 2022. – Т. 29. – №1. – С.101-105.
6. Григоренко В.В., Еськов В.М., Анализ временных рядов в исследовании процессов хаотической динамики // Естественные и технические науки. №6 (96). – 2016 – С. 130-134.
7. Еськов В.В. Математическое моделирование гомеостаза и эволюции *complexity*: монография. Тула: Издательство ТулГУ, 2016. – 307 с.
8. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Филатова Д.Ю., Башкатова Ю.В. Хаос параметров гомеостаза сердечно-сосудистой системы человека / Самара: Изд-во ООО «Порто-Принт», 2018. – 312 с.
9. Еськов В.В., Башкатова Ю.В., Шакирова Л.С., Веденеева Т.С., Мордвинцева А.Ю. Проблема стандартов в медицине и физиологии // Архив клинической медицины. – 2020. – Т. 29, № 3. – С. 211-216.
10. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Шакирова Л.С., Мельникова Е.Г. Роль хаоса в регуляции физиологических функций организма / Под ред. А.А. Хадарцева. Самара: ООО «Порто-принт», 2020. – 248 с.
11. Еськов В.В. Системный анализ и синтез в биомедицине // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 31-44. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-26-34
12. Еськов В.В., Галкин В.А., Гавриленко Т.В., Филатова О.Е., Веденеева Т.С. Понятие сложности у W. Weaver И I.R. Prigogine // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 4. – С. 45-57. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-35-44
13. Еськов В.В., Галкин В.А., Гавриленко Т.В., Юшкевич Д.П., Поросинин О.И. Моделирование неопределенностей в рамках компартментно-кластерной теории // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 4. – С. 85-94.
14. Еськов В.В., Ивахно Н.В., Гриценко И.А., Мамина К.Е. Новое понятие системного синтеза в биомедицине и экологии человека // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – №4. – С. 118-122.
15. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Complexity: хаос гомеостатических систем / Под ред. Г.С. Розенберга. Самара: Изд-во ООО «Порто-принт», 2017. – 388 с.
16. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Конец определенности: хаос гомеостатических систем / Под ред. Хадарцева А.А., Розенберга Г.С. Тула: изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение, 2017. – 596 с.
17. Еськов В.М., Галкин В.А., Пятин В.Ф., Филатов М.А. Организация движений: стохастика или хаос? / Под ред. член-корр. РАН, д.биол.н., профессора Г.С. Розенберга. Самара: Издательство ООО «Порто-принт», 2020. – 144 с.
18. Еськов В.М., Пятин В.Ф., Башкатова Ю.В. Медицинская и биологическая

- кибернетика: перспективы развития. // Успехи кибернетики. – 2020. – Т.1, №1. – С. 64-72.
19. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Великие проблемы Гинзбурга и биомедицинские науки // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – №2. – С. 115-120.
 20. Еськов В. М., Филатов М. А., Газя Г. В., Стратан Н. Ф. Возможности создания искусственного интеллекта на базе искусственных нейросетей. // Успехи кибернетики. 2021.– Т.2, №3 – С. 44–52.
 21. Заславский Б.Г., Филатов М.А., Еськов В.В., Манина Е.А. Проблема нестационарности в физике и биофизике. // Успехи кибернетики. – 2020.– Т. 1, №2. – С. 61–67.
 22. Козупица Г.С., Еськов В.В. Complexity и системы третьего типа в социологии // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 3. – С. 50-61.
 23. Коннов П.Е., Филатов М.А., Поросинин О.И., Юшкевич Д.П. Использование искусственных нейросетей в оценке актинического дерматита // Вестник новых медицинских технологий. – 2022. – Т. 29. – № 2. – С.109-112.
 24. Пятин В. Ф., Еськов В. В., Филатова О. Е., Башкатова Ю. В. Новые представления о гомеостазе и эволюции гомеостаза // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2019. – Т. 28, № 1. – С. 21-27.
 25. Пятин В. Ф., Еськов В.В. Может ли быть статичным гомеостаз? // Успехи кибернетики. – 2021. – Т. 2, №1. – С. 41-49.
 26. Филатова О.Е., Еськов В.В., Галкин В.А., Филатов М.А., Фаузитдинова К.А. Классификация неопределенностей в медицине // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 2. – С. 59-68.
 27. Филатова О.Е., Галкин В.А., Башкатова Ю.В., Шакирова Л.С. Новые возможности нейрокомпьютеров в биомедицине // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 3. – С. 5-16.
 28. Филатова О.Е., Мельникова Е.Г., Шакирова Л.С., Хвостов Д.Ю., Фадюшина С.И. Возрастная динамика нейровегетативного статуса приезжего населения Югры // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 107-112.
 29. Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Еськов В.В., Мандрыка И.А. Энтропийный подход в физике живых систем и теории хаоса-самоорганизации. // Успехи кибернетики. – Успехи кибернетики. – 2020.– Т. 1, №3. – С. 41-49.
 30. Хадарцев А.А., Еськов В.В., Башкатова Ю.В., Веденеев В.В. Место общей теории систем в когнитивных исследованиях // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 2. – С. 31-47.
 31. Чемпалова Л.С., Яхно Т.А., Манина Е.А., Игнатенко А.П., Оразбаева Ж.А. Гипотеза W. Weaver при изучении произвольных и непроизвольных движений // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – № 1. – С. 75-77.
 32. Eskov V.V., Filatov M.A., Galkin V.A., Filatova O.E. New computational methods for investigation of the third type of systems. // AIP Conference Proceedings – 2021.– 2402, 050017, doi.org/10.1063/5.0073431
 33. Eskov V.V., Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Gazya G.V., Filatov M.A. Models of uncertainty in the framework of compartment-cluster theory // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 981 032004
 34. Kozlova V.V., Galkin V.A., Filatov M.A. Diagnostics of brain neural network states from the perspective of chaos // *Journal of Physics Conference Series.* 2021. Vol. 1889(5). P. 052016 DOI:10.1088/1742-6596/1889/5/052016
 35. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // *Measurement techniques.* – 1994. – Vol. 37(8). – Pp. 967-971.
 36. Eskov, V.M., Filatova, O.E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // *Biophysics.* 2003. 48(3). – Pp. 497-505.
 37. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Pyashenko 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.

38. Eskov V.M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, measurement and control. – 1995. – 48(1-2). – Pp. 47-63.
39. Eskov V.M. Cyclic respiratory neuron network with subcycles // Neural Network World. – 1994. – 4(4). – Pp. 403-416.
40. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development Emergence // Complexity and Organization. – 2014, 16(2). – Pp. – 107-115.
41. Eskov V.M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics // AIP Conference Proceedings 2402, 050042 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0072488>
42. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development Emergence // Complexity and Organization. – 2014, 16(2). – Pp. – 107-115.
43. Filatova O.E., Galkin V.A., Eskov V.V., Filatov M.A., Gavrilenko T.V. Warren Weaver's Complexity and Fuzziness of Lotfi A. Zadeh Leading to Uncertainty in Biosystem Study // AIP Conference Proceedings 2467, 060046 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0092442>
44. Grigorenko, V.V., Eskov, V.M., Filatov, M.A., Pavlyk, A.V. New information technologies in the analysis of electroencephalograms / Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1679(3), 032081.
45. Grigorenko, V.V., Eskov, V.M., Nazina, N.B., Egorov, A.A. Information-analytical system of cardiographic information functional diagnostics / Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1515(5), 052027.
46. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
47. Weaver W. Science and Complexity // American Scientist. 1948. Vol. 36, №4. P. 536–544 / Weaver W. Science and Complexity. American Scientist. 1948; 36(4):536-44.
1. Anoxin P.K. Kibernetika funkcional'nyx system [Cybernetics of functional systems] – M., Medicina, 1998. – 285 s.
2. Galkin V.A., Eskov V.V., Pyatin V.F., Kirasirova L.A., Kul'chiczkiy V.A. Sushhestvuet li stoxasticheskaya ustojchivost' vy`borok v nejronaukax? [Is there stochastic stability of samples in neuroscience?] // Novosti mediko-biologicheskix nauk [Journal of Medical and Biological Sciences News]. / – 2020. – T. 20, № 3. – S. 126-132.
3. Galkin V.A., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Bashkatova Yu.V. Imeetsya li kaos v rabote serdca? [Is there chaos in the work of the heart?] // Slozhnost`. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 3. – S. 28-39. DOI: 10.12737/2306-174X-2021-24-32
4. Gazya G.V., Eskov V.V., Bodin O.N., Vedeneev V.V. Sistemny`j analiz parametrov serdechno-sosudistoj sistemy` muzhchin i zhenshhin Yugry` [System analysis of parameters of the cardiovascular system of men and women of Yugra]// Vestnik novy`x medicinskix texnologij [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. – 2021. – № 4. – S. 26-29.
5. Gazya G.V., Eskov V.V. Iskusstvenny`e nejroseti v ocenke vozrastny`x izmenenij [Artificial neural networks in the assessment of age-related changes] // Vestnik novy`x medicinskix texnologij [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. – 2022. – T. 29. – №1. – S.101-105.
6. Grigorenko V.V., Eskov V.M., Analiz vremenny`x ryadov v issledovanii processov xaoticheskoy dinamiki [Time series analysis in the study of chaotic dynamics processes] // Estestvenny`e i texnicheskie nauki [Journal of Natural and Technical Sciences]. №6 (96). – 2016 – S. 130-134.
7. Eskov V.V. Matematicheskoe modelirovanie gomeostaza i e`volucii complexity: monografiya [Mathematical

References

- modeling of homeostasis and evolution complexity: monograph]. Tula: Izdatel'stvo TulGU, 2016. – 307 s.
8. Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatova D.Yu. Bashkatova Yu.V. *Xaos parametrov gomeostaza serdechno-sosudistoj sistemy cheloveka* [Chaos of parameters of homeostasis of the human cardiovascular system] / Samara: Izd-vo OOO «Porto-Print», 2018. – 312 s.
 9. Eskov V.V., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S., Vedeneeva T.S., Mordvinceva A.Yu. *Problema standartov v medicine i fiziologii* [The problem of standards in medicine and physiology] // *Arxiv klinicheskoy mediciny` mediciny* [Archive of clinical medicine]. – 2020. – T. 29, № 3. – S. 211-216.
 10. Eskov V.V., Pyatin V.F., Shakirova L.S., Mel`nikova E.G. *Roľ` xaosa v regulyacii fiziologicheskix funkcij organizma* [The role of chaos in the regulation of physiological functions of the body] / Pod red. A.A. Xadarceva. Samara: OOO «Porto-print», 2020. – 248 s.
 11. Eskov V.V. *Sistemny`j analiz i sintez v biomedicine* [System analysis and synthesis in biomedicine] // *Vestnik novy`x medicinskih texnologij* [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. E`lektronnoe izdanie. – 2021. – T. 15, № 4. – S. 31-44. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-26-34
 12. Eskov V.V., Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Filatova O.E., Vedeneeva T.S. *Ponyatie slozhnosti u W. Weaver i I.R. Prigogine* [The concept of complexity in W. Weaver and I.R. Prigogine] // *Slozhnost`. Razum. Postneklassika* [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 4. – S. 45-57. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-35-44
 13. Eskov V.V., Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Yushkevich D.P., Porosinin O.I. *Modelirovanie neopredelennostej v ramkax kompartmentno-klasternoj teorii* [Uncertainty modeling in the framework of the compartment-cluster theory] // *Slozhnost`. Razum. Postneklassika* [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 4. – S. 85-94.
 14. Eskov V.V., Ivaxno N.V., Gricenko I.A., Mamina K.E. *Novoe ponyatie sistemnogo sinteza v biomedicine i e`kologii cheloveka* [A new concept of system synthesis in biomedicine and human ecology] // *Vestnik novy`x medicinskih texnologij* [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. – 2021. – №4. – S. 118-122.
 15. Eskov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. *Complexity: xaos gomeostaticeskix system* [Complexity: the chaos of homeostatic systems] / Pod red. G.S. Rozenberga. Samara: Izd-vo OOO «Porto-print», 2017. – 388 s.
 16. Eskov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. *Konecz opredelennosti: xaos gomeostaticeskix system* [The End of Certainty: The chaos of homeostatic systems] / Pod red. Xadarceva A.A., Rozenberga G.S. Tula: izd-vo Tul'skoe proizvodstvennoe poligraficheskoe ob`edinenie, 2017. – 596 s.
 17. Eskov V.M., Galkin V.A., Pyatin V.F., Filatov M.A. *Organizaciya dvizhenij: stoxastika ili xaos?* [Organization of movements: stochastics or chaos?] / Pod red. chlen-korr. RAN, d.biol.n., professora G.S. Rozenberga. Samara: Izdatel'stvo OOO «Porto-print», 2020. – 144 s.
 18. Eskov V.M., Pyatin V.F., Bashkatova Yu.V. *Medicinskaya i biologicheskaya kibernetika: perspektivy` razvitiya* [Medical and biological cybernetics: prospects for development] // *Uspexi kibernetiki* [Russian Journal of Cybernetics]. – 2020. – T.1, №1. – S. 64-72.
 19. Eskov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. *Velikie problemy` Ginzburga i biomedicinskie nauki* [Ginzburg's Great Problems and Biomedical Sciences] // *Vestnik novy`x medicinskih texnologij* [Journal of new medical technologies.

- Electronic edition]. – 2021. – №2. – S. 115-120.
20. Eskov V. M., Filatov M. A., Gazya G. V., Stratan N. F. Vozmozhnosti sozdaniya iskusstvennogo intellekta na baze iskusstvenny`x nejrosetej [The possibilities of creating artificial intelligence based on artificial neural networks] // Uspexi kibernetiki [Russian Journal of Cybernetics]. 2021.– T.2, №3 – S. 44–52.
 21. Zaslavskij B.G., Filatov M.A., Eskov V.V., Manina E.A. Problema nestacionarnosti v fizike i biofizike [The problem of nonstationarity in physics and biophysics] // Uspexi kibernetiki [Russian Journal of Cybernetics]. – 2020. – T. 1, №2. – S. 61–67.
 22. Kozupicza G.S., Eskov V.V. Complexity i sistemy` tret`ego tipa v sociologii [Complexity and systems of the third type in sociology] // Slozhnost`. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 3. – S. 50-61.
 23. Konnov P.E., Filatov M.A., Porosinin O.I., Yushkevich D.P. Ispol`zovanie iskusstvenny`x nejrosetej v ocenke aktinicheskogo dermatita [The use of artificial neural networks in the assessment of actinic dermatitis] // Vestnik novy`x medicinskix texnologij [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. – 2022. – T. 29. – № 2. – S.109-112.
 24. Pyatin V. F., Eskov V. V., Filatova O. E., Bashkatova Yu. V. Novy`e predstavleniya o gomeostaze i e`voljucii gomeostaza [New ideas about homeostasis and the evolution of homeostasis] // Arxiv klinicheskoy i e`ksperimental`noj mediciny` [Archive of Clinical and Experimental Medicine]. – 2019. – T. 28, № 1. – S. 21-27.
 25. Pyatin V. F., Eskov V.V. Mozhet li byt` statichny`m gomeostaz? [Can homeostasis be static?] // Uspexi kibernetiki [Russian Journal of Cybernetics– 2021. – T. 2, №1. – S. 41-49.
 26. Filatova O.E., Eskov V.V., Galkin V.A., Filatov M.A., Fauzitdinova K.A. Klassifikaciya neopredelennosey v medicine [Classification of uncertainties in medicine] // Slozhnost`. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 2. – S. 59-68.
 27. Filatova O.E., Galkin V.A., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S. Novy`e vozmozhnosti nejrokomp`yuterov v biomedicine [New possibilities of neurocomputers in biomedicine] // Slozhnost`. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 3. – S. 5-16.
 28. Filatova O.E., Mel`nikova E.G., Shakirova L.S., Xvostov D.Yu., Fadyushina S.I. Vozrastnaya dinamika nejrovegetativnogo statusa priezzhego naseleniya Yugry` [Age dynamics of neurovegetative status of the visiting population of Yugra] // Vestnik novy`x medicinskix texnologij [Journal of new medical technologies. Electronic edition]. E`lektronnoe izdanie. – 2021. – T. 15, № 3. – S. 107-112.
 29. Xadarcev A.A., Filatova O.E., Eskov V.V., Mandry`ka I.A. E`ntropijny`j podxod v fizike zhivy`x sistem i teorii xaosa-samoorganizacii [Entropy approach in the physics of living systems and the theory of chaos-self-organization] // Uspexi kibernetiki [Russian Journal of Cybernetics– Uspexi kibernetiki [Russian Journal of Cybernetics– 2020. – T. 1, №3. – S. 41-49.
 30. Xadarcev A.A., Eskov V.V., Bashkatova Yu.V., Vedeneev V.V. Mesto obshhej teorii sistem v kognitivny`x issledovaniyax [The place of general systems theory in cognitive research] // Slozhnost`. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – № 2. – S. 31-47.
 31. Chempalova L.S., Yaxno T.A., Manina E.A., Ignatenko A.P., Orazbaeva Zh.A. Gipoteza W. Weaver pri izuchenii proizvol`ny`x i neproizvol`ny`x dvizhenij [The W. Weaver hypothesis in the study of voluntary and involuntary movements] // Vestnik novy`x medicinskix texnologij [Journal of new medical technologies.

- Electronic edition]. – 2021. – № 1. – S. 75-77.
32. Eskov V.V., Filatov M.A., Galkin V.A., Filatova O.E. New computational methods for investigation of the third type of systems. // AIP Conference Proceedings – 2021. – 2402, 050017, doi.org/10.1063/5.0073431
33. Eskov V.V., Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Gazya G.V., Filatov M.A. Models of uncertainty in the framework of compartment-cluster theory // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 981 032004
34. Kozlova V.V., Galkin V.A., Filatov M.A. Diagnostics of brain neural network states from the perspective of chaos // Journal of Physics Conference Series. 2021. Vol. 1889(5). P. 052016 DOI:10.1088/1742-6596/1889/5/052016
35. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement techniques. – 1994. – Vol. 37(8). – Pp. 967-971.
36. Eskov, V.M., Filatova, O.E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // Biophysics. 2003. 48(3). – Pp. 497-505.
37. 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.
38. Eskov V.M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, measurement and control. – 1995. – 48(1-2). – Pp. 47-63.
39. Eskov V.M. Cyclic respiratory neuron network with subcycles // Neural Network World. – 1994. – 4(4). – Pp. 403-416.
40. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development Emergence // Complexity and Organization. – 2014, 16(2). – Pp. – 107-115.
41. Eskov V.M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics // AIP Conference Proceedings 2402, 050042 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0072488>
42. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: The basic law of human development Emergence // Complexity and Organization. – 2014, 16(2). – Pp. – 107-115.
43. Filatova O.E., Galkin V.A., Eskov V.V., Filatov M.A., Gavrilenko T.V. Warren Weaver's Complexity and Fuzziness of Lotfi A. Zadeh Leading to Uncertainty in Biosystem Study // AIP Conference Proceedings 2467, 060046 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0092442>
44. Grigorenko, V.V., Eskov, V.M., Filatov, M.A., Pavlyk, A.V. New information technologies in the analysis of electroencephalograms / Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1679(3), 032081.
45. Grigorenko, V.V., Eskov, V.M., Nazina, N.B., Egorov, A.A. Information-analytical system of cardiographic information functional diagnostics / Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1515(5), 052027.
46. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature (Free Press, 1996).
47. Weaver W. Science and Complexity // American Scientist. 1948. Vol. 36, №4. P. 536–544 / Weaver W. Science and Complexity. American Scientist. 1948; 36(4):536-44.