

УДК 577.3:621.391

Технология хаос-ритмов в исследованиях собственного электромагнитного поля биологических объектов

А.А. Алешков, Г.А. Цветков✉

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Российская Федерация*

Резюме. Любой живой организм имеет собственное биологическое поле, зависящее как от характеристик и состояния живого организма, так и от факторов внешней среды. При информационном воздействии внешних факторов наблюдается изменение фрактальной структуры этого поля и образование особых хаотических сигналов, параметры которых могут служить основой для решения различных научных и практических задач. В статье представлена технология исследования электромагнитных полей биологических объектов на основе анализа изменения структуры хаоса широкополосных хаотических сигналов собственных электромагнитных излучений, генерируемых под действием внешнего информативного электромагнитного поля с заданной напряженностью и модуляционно-временными параметрами. Для оценки структуры хаотических сигналов предлагается использовать такие методы фрактального подхода, как отображение Пуанкаре, вычисление соответствующей размерности Хаусдорфа и параметров хаос-ритма. На основе проведенных экспериментов установлено наличие характерной зависимости параметров хаос-ритма собственных электромагнитных излучений биообъекта как от характеристик и состояния самого живого организма, так и от параметров, последовательности и скорости изменения внешнего информативного электромагнитного поля. Определена степень информационного воздействия внешнего электромагнитного поля на человека, которая может превосходить энергетическое по некоторым показателям почти в 4 раза. Доказана возможность использования предложенной технологии для решения различных научных и практических задач: медицинских исследований функционального состояния организма, оценки и контроля воздействия электромагнитных полей на здоровье человека, разработки средств защиты окружающей среды и человека от радиоизлучающих систем, обнаружения и распознавания биообъектов заданного класса.

Ключевые слова: фрактальный подход, хаос-ритм, показатель Хаусдорфа, широкополосный хаотический сигнал, биорадиоинформативная технология, биологический объект, электромагнитное излучение, интегральное поле, информационное взаимодействие.

Для цитирования: Алешков А.А., Цветков Г.А. Технология хаос-ритмов в исследованиях собственного электромагнитного поля биологических объектов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1570>

Chaos-rhythm technology in research of intrinsic electromagnetic field of biological objects

A.A. Aleshkov, G.A. Tsvetkov✉

Perm National Research Polytechnic University, Perm, the Russian Federation

Abstract. Any living organism has its own biological field, which depends both on the characteristics and state of the living organism and on environmental factors. Under informational influence of external factors, a change in the fractal structure of this field is observed and the formation of special chaotic signals, the parameters of which can serve as a basis for solving various scientific and practical problems. The article presents a technology for studying the electromagnetic fields of biological objects

based on an analysis of changes in the chaos structure of broadband chaotic signals of their own electromagnetic radiation generated under the influence of an external informative electromagnetic field with a given strength and modulation-time parameters. To estimate the structure of chaotic signals it is proposed to use such methods of fractal approach as Poincaré mapping, calculation of the corresponding Hausdorff dimensionality and chaos-rhythm parameters. On the basis of the conducted experiments, the presence of a characteristic dependence of chaos-rhythm parameters of own electromagnetic emissions of a bioobject on the characteristics and state of the living organism itself, as well as on the parameters, sequence and rate of change of the external informative electromagnetic field has been established. The degree of informative influence of the external electromagnetic field on a human being is determined, which can exceed the energetic one by some indicators almost 4 times. The possibility of using the proposed technology to solve various scientific and practical problems has been proved: medical studies of the functional state of the organism, assessment and control of the impact of electromagnetic fields on human health, development of means to protect the environment and humans from radio-emitting systems, detection and recognition of bioobjects of a given class.

Keywords: fractal approach, chaos-rhythm, Hausdorff dimension, wideband chaotic signal, bioradioinformative technology, biological object, electromagnetic radiation, integral field, information interaction.

For citation: Aleshkov A.A., Tsvetkov G.A. Chaos-rhythm technology in research of intrinsic electromagnetic field of biological objects. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1570> (In Russ.).

Введение

Как известно, любой живой организм имеет собственное электромагнитное поле (ЭМП) весьма сложной конфигурации, зависящее от сложности организации биологической системы (БС), а также характеристик окружающей среды. Оно высокочувствительно и избирательно, меняется в зависимости от физиологического, соматического и психического состояния организма и взаимодействует с внешней средой, обеспечивая электромагнитный гомеостаз [1–4]. Поэтому исследования собственных электромагнитных полей и излучений (ЭМИ) биологических объектов (БО) и их зависимости от внешних факторов является важной научной задачей.

С точки зрения биофизики особый интерес представляет информационное взаимодействие биообъекта с внешними ЭМП радиоволнового диапазона, которое определяется такими параметрами, как вид, частота и глубина амплитудной модуляции поля, поляризации волны и т. д. Оно оказывает влияние на физико-химические процессы в живом организме, а через них на направленность биохимических реакций [3, 4].

С одной стороны, при определенных условиях это приводит к развитию патологических эффектов в организме даже в случае отсутствия «теплового» воздействия поля из-за его малой мощности, что требует разработки особых мероприятий по защите и интегрированному нормированию информативных параметров малоинтенсивных ЭМП радиоволнового диапазона [5, 6]. С другой стороны, при заданных напряженности и модуляционно-временных параметрах внешнего информативного электромагнитного поля (ВИ ЭМП) организмом (в режиме бифуркации) формируется электромагнитный хаотический отклик относительно большой интенсивности в диапазоне внешнего ВИ ЭМП, обеспечивающий возможность фиксации и анализа импульсных параметров конкретного биологического объекта на расстоянии в виде собственного широкополосного хаотического сигнала (ШХС). Получаемый сигнал будет иметь фрактальную структуру с ярко выраженным самоподобием его элементов, отражающих реакцию организма на действие внешних факторов в зависимости от особенностей внутренних биологических ритмов, массогабаритных и других характеристик БО [7, 8].

Участие фрактальных процессов в регуляции гомеостаза, их способность к восприятию и передаче электромагнитных сигналов позволяют рассматривать подобные фрактальные взаимодействия как одно из весьма значимых условий жизнеспособности организма, а изменение фрактальной структуры ШХС при информационном воздействии ЭМП – одной из основных форм проявления жизнедеятельности на всех уровнях организации живой материи [4, 9]. Естественно предположить, что для каждого организма и его состояния должно существовать определенное гармоническое равновесие между ритмами разной периодичности при гомеостазе, то есть наличие определенной нормы хаотичности и некоторых допустимых отклонений от нее [10].

Исходя из вышесказанного, собственные ЭМИ БО в виде ШХС, генерируемые при информационном взаимодействии с внешним ЭМП, обладают большой информативностью (в том числе диагностической) и могут быть использованы для решения различных научных и практических задач. Фрактальная структура ШХС биообъекта и ее изменение во времени в зависимости от действия внешних факторов одновременно может характеризовать как сам объект (принадлежность к живым организмам, его вид, состояние и различные параметры), так и степень влияния этих факторов на организм (отрицательное или положительное).

Для оценки изменения структуры ШХС БО и определения нормы хаотичности использование S-теоремы весьма проблематично из-за отсутствия в заданных условиях внешнего управляющего параметра [11]. Для этого наиболее целесообразно использовать параметры так называемых хаос-ритмов (среднее состояние амплитудно-частотной структуры хаоса, амплитуда, период и фаза изменения структуры хаоса) на каждой несущей частоте собственных ЭМИ исследуемого диапазона частот. Под хаос-ритмом понимается биологический физиологический ритм, определяющий непрерывные колебания уровня функциональной активности биообъекта в зависимости от внутренних потребностей организма, в основе которых лежат изменения метаболизма БС в виде нейрогуморальных процессов, протекающих в определенном закрепленном темпе и ритме, а также от факторов окружающей среды, в том числе бифуркационного параметра в виде ВИ ЭМП [10–14].

Цель работы: изучение характерных особенностей и зависимостей изменения параметров собственного электромагнитного поля человека при действии ВИ ЭМП радиоволнового диапазона на основе предложенной технологии хаос-ритмов, а также исследование возможных перспектив применения этого подхода к проблемам информационного взаимодействия живых организмов с окружающей средой электромагнитной природы.

Материалы и методы

В рамках экспериментального исследования предлагается проанализировать структуру хаоса собственных ЭМИ биообъекта в виде ШХС и ее изменение во времени при наличии и отсутствии внешнего фактора (ВИ ЭМП) с помощью таких методов фрактального подхода, как отображение Пуанкаре, вычисление соответствующей размерности Хаусдорфа и параметров хаос-ритма. При этом информационное изменение структуры хаоса будет определяться алгоритмом изменения параметров ВИ ЭМП, который задается при неизменных характеристиках биообъекта.

Для достижения целей исследования была создана установка, в состав которой входили следующие элементы (Рисунок 1):

1. Система формирования ВИ ЭМП в виде высокочастотного генератора амплитудно-модулированных колебаний частоты радиодиапазона на базе радиостанции

ГЗ-112М, создаваемое поле которой использовалось в качестве бифуркационного параметра при взаимодействии с биообъектом.

2. Система приема (съемы) с биообъекта низкочастотной части ШХС, созданная на базе электроэнцефалографа, выходные сигналы которого в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ) представляют собой суммарную функциональную электроактивность мозга, отражающую в конечном счете функциональную электроактивность всех органов и тканей биообъекта при взаимодействии их с ВИ ЭМП и при его отсутствии.

3. Контролирующая аппаратура бифуркационного параметра, в качестве которой использовались осциллограф 1С-73 и маломощный радиоприемник.

4. Программный комплекс для обработки и анализа полученных данных: преобразование полученных сигналов во фрактальную структуру сечения Пуанкаре, ее оценка показателем Хаусдорфа, формирование зависимости показателя Хаусдорфа от времени в виде хаос-ритма и определение его параметров [10–14].

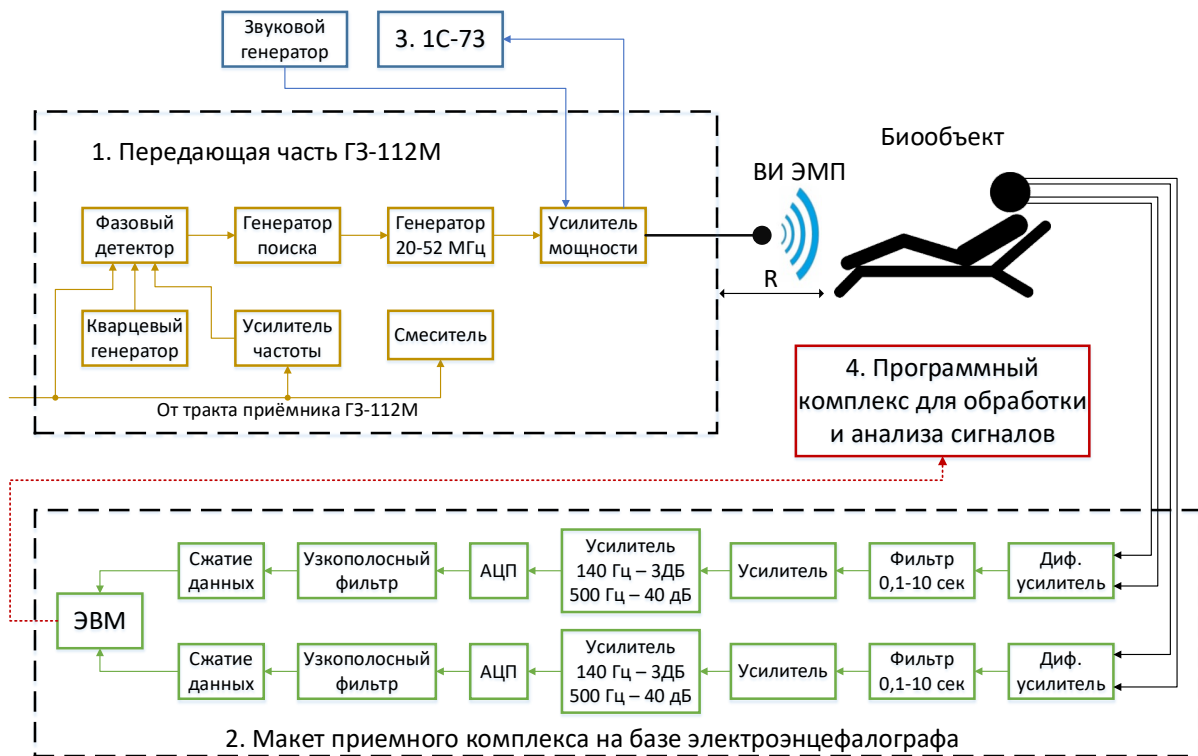


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки
Figure 1 – Structural diagram of the experimental setup

Максимальное или минимальное значение показателя Хаусдорфа (D_{min} , D_{max}), с помощью которого оценивается структура ШХС БО, определяется по формуле [14]:

$$D = 1 + \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\lg N(\varepsilon)}{\lg \varepsilon^{-1}}, \quad (1)$$

где $N(\varepsilon)$ – минимальное количество малых квадратов, покрывающих множество точек N_0 ; ε ($\varepsilon \rightarrow 0$) – величина стороны квадрата (по оси X – 0,066 сек, по оси Y – 20 мкВ).

Хаос-ритм формируется, как зависимость показателя Хаусдорфа от времени на временной шкале ШХС. Хаос-ритмы оцениваются следующими параметрами [14]:

1. Период колебаний хаос-ритма оценивается в секундах между соседними максимальными или минимальными значениями амплитуды и определяется:

$$T = 1/F, \quad (2)$$

где F – частота хаос-ритма, то есть количество колебаний в секунду.

На каждом участке хаос-ритма встречаются волны различных частот, поэтому обычно приводится средняя частота.

2. Среднее состояние структуры хаос-ритма биообъекта как среднее значение показателя Хаусдорфа за период квазигармонического колебания, определяемое за период ритма T по формуле:

$$S = (D_{max} + D_{min})/2. \quad (3)$$

3. Амплитуда колебаний хаос-ритма (часть показателя Хаусдорфа после запятой) – размах колебаний хаос-ритма. Оценивается в единицах ПХД от положительного или отрицательного пика волны до величины среднего состояния (S):

$$A = (D - S) \cdot 10^4. \quad (4)$$

Объект исследования – мужчина в возрасте 20 лет, весом 63 кг, ростом 1,69 м и размерами на уровне груди $0,3 \times 0,3$ м. Объект, как источник ШХС, располагался в горизонтальном положении вдоль линий направления потока энергии системы формирования ВИ ЭМП на расстоянии от излучающей антенны, обеспечивающей заданную величину бифуркационного параметра. На голове человека устанавливаются в виде антенной решетки 12 пар электродов, передающих сигналы в систему приема.

Информативным параметром внешнего поля принята частота амплитудной модуляции 500-1500 Гц с глубиной модуляции несущей не менее 80 %. Очевидно, что в качестве информативного параметра ВИ ЭМП может использоваться несущая частота, поляризация волны, импульсная, а возможно и другие виды модуляции. Однако в заявленном эксперименте данные исследования не проводились.

Экспериментальное исследование проводилось в режимах функционирования всего комплекса совместно с биообъектом в следующей последовательности:

Подрезжим № 1 – система формирования ВИ ЭМП отключена в течение 5 минут. В результате предварительного анализа не выявлены частотные и амплитудные изменения характеристик сигналов. Регистрируемые сигналы соответствовали по пространственному и временному состоянию бодрствования и возрасту биообъекта.

Подрезжим № 2 – система формирования ВИ ЭМП работает при малой мощности (электрическая напряженность $E_{вн} = 1,2$ мВ/м) в течение 30 минут на несущей частоте 25 МГц и частотой амплитудной модуляции, изменяющейся от 500 до 1500 Гц на 100 Гц каждые 3 минуты (после 1200 Гц изменение до 1400 Гц за 6 минут). Поляризация волны вертикальная. Визуальный анализ подтверждает устойчивую зависимость изменения амплитуды и частоты регистрируемых сигналов от воздействия бифуркационного параметра.

Подрезжим № 1 – система формирования ВИ ЭМП отключена в течение 3 минут. В результате на мониторе визуально можно было проследить стабилизацию сигнала.

Подрезжим № 3 – система формирования ВИ ЭМП работает при большой мощности (электрическая напряженность $E_{вн} = 6$ мВ/м) в течение 22 минут на несущей частоте 25 МГц и частотой амплитудной модуляции, изменяющейся от 500 до 1500 Гц на 100 Гц каждые 2 минуты (после 1200 Гц изменение до 1400 Гц за 4 минуты). Поляризация волны вертикальная. Визуально наблюдались схожие изменения регистрируемых сигналов, но с менее резкими колебаниями.

Подрезжим № 1 – система формирования ВИ ЭМП отключена в течение 3 минут. Регистрируемый сигнал постепенно восстанавливался в исходное состояние.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты расчетов показателя Хаусдорфа и параметров хаос-ритма ШХС человека, полученных на каждом этапе эксперимента, сведены в Таблицу 1.

Таблица 1 – Изменение параметров хаос-ритма собственного ЭМИ человека в зависимости от частоты амплитудной модуляции действующего на него ВИ ЭМИ

Table 1 – Changes in the parameters of the chaos-rhythm of a person's own EMR depending on the frequency of amplitude modulation of the EI EMR acting on it

Параметры хаос-ритма	Частота модуляции ВИ ЭМП (Гц)											
	Нет ЭМП	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1500	Нет ЭМП
<i>Хаос-ритм-М (ВИ ЭМП малой интенсивности $E_{\text{вн}}=1,2$ мВ/м)</i>												
D_{\min}	2,4619	2,458	2,4776	2,4329	2,4403	2,4696	2,4737	2,4877	2,4959	2,4961	2,5184	2,527
D_{\max}	2,4729	2,4854	2,4915	2,5263	2,4647	2,4944	2,4862	2,5197	2,5553	2,5494	2,5588	2,5482
S	2,4671	2,4717	2,4645	2,4746	2,4525	2,4820	2,4800	2,5037	2,5256	2,5227	2,5386	2,5376
T (сек) F (Гц)	4,0 0,25	7,19 0,39	5,61 0,178	38,46 0,026	14,29 0,069	14,29 0,069	9,35 0,107	12,82 0,078	45,45 0,022	20,0 0,05	20,0 0,05	6,02 0,166
A (ед. ПХД)	58	137	270	467	122	124	162	160	297	267	202	101
$A^* = \frac{A}{A_{\min}}$	-	1,12	2,21	3,83	1,00	1,02	1,31	1,33	2,43	3,29	1,66	-
$S^* = \frac{S}{S_{\min}}$	-	1,042	1,026	1,049	1,00	1,065	1,113	1,061	1,162	1,115	1,19	-
$T^* = \frac{T}{T_{\text{ЭН}}}$	-	0,503	0,392	2,691	1,00	1,00	0,654	0,849	3,18	1,399	1,399	-
<i>Хаос-ритм-Б (ВИ ЭМП большой интенсивности $E_{\text{вн}}=6,0$ мВ/м)</i>												
D_{\min}	2,527	2,501	2,501	2,4729	2,4605	2,468	2,4696	2,4554	2,4688	2,48	2,4877	2,5217
D_{\max}	2,5482	2,5421	2,5366	2,5067	2,4981	2,4761	2,5109	2,5191	2,5237	2,5157	2,5116	2,5415
S	2,5376	2,5215	2,5188	2,4898	2,4793	2,4670	2,4902	2,4872	2,4962	2,4978	2,4978	2,5316
T (сек)/ F (Гц)	6,02 0,166	9,35 0,107	10,75 0,093	10,53 0,095	16,99 0,059	15,62 0,064	16,39 0,061	38,46 0,026	16,39 0,061	10,53 0,095	10,00 0,1	9,50 0,105
A (ед. ПХД)	101	206	178	169	188	91	207	319	275	179	120	116
$A^* = \frac{A}{A_{\min}}$	-	2,26	1,96	1,86	2,07	1,00	2,27	3,51	3,02	1,97	1,32	-
$S^* = \frac{S}{S_{\min}}$	-	1,116	1,111	1,049	1,026	1,00	1,05	1,043	1,063	1,066	1,070	-
$T^* = \frac{T}{T_{\text{ЭН}}}$	-	0,599	0,688	0,674	1,088	1,00	1,049	2,462	1,049	0,674	0,640	-

1. Показатель Хаусдорфа (D)

Результаты оценки значений показателя Хаусдорфа подтверждают визуальные наблюдения в процессе эксперимента, при которых были выявлены изменения пространственного и временного распределения сигналов.

Без воздействия бифуркационного параметра показатель Хаусдорфа является достаточно стабильным и не обладает резкими переходами. При воздействии внешнего ЭМП с соответствующими параметрами возникает достаточно резкое изменение: наблюдаются как спады, так и всплески с минимальным значением $D = 2,4329$ и максимальным $D = 2,5588$. То есть экспериментально полученный хаос-ритм показателя Хаусдорфа подтверждает возможность изменения ЭМИ биологических систем под влиянием внешнего ЭМП.

2. Параметры хаос-ритмов

На Рисунке 2 представлена графическая зависимость среднего состояния и амплитуды колебаний хаоса ШХС от частоты амплитудной модуляции ВИ ЭМП.

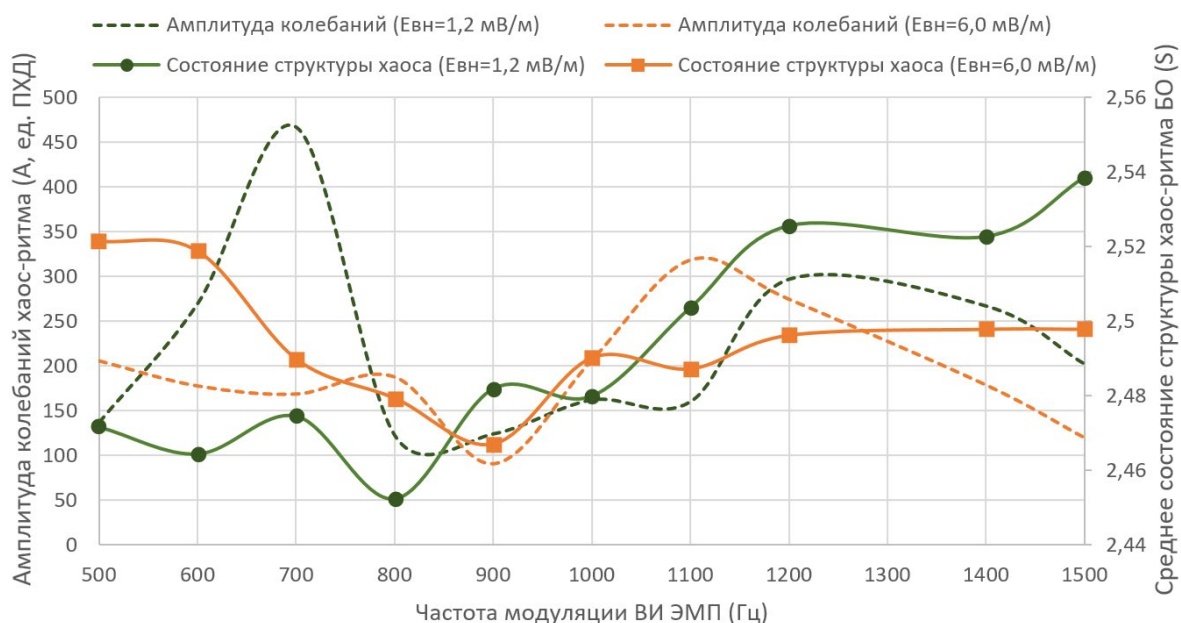


Рисунок 2 – Зависимость среднего состояния и амплитуды колебаний хаос-ритма ШХС БО от частоты амплитудной модуляции ВИ ЭМП

Figure 2 – Dependence of average state and amplitude of chaos-rhythm WCS BO oscillations on the frequency of amplitude modulation of EI EMR

Согласно Рисунку 2 наблюдаются ярко выраженные колебания параметров хаос-ритма, которые говорят в первую очередь о том, что сигналы получены от живого организма, находящегося в специфичном для него состоянии, так называемом бифуркационном режиме. Также видно устойчивую зависимость колебаний уровня хаоса, характеризующего ЭМИ биообъекта, от воздействия соответствующего бифуркационного параметра. При этом на частотах 800-1000 Гц можно заметить значительное ослабление информационного влияния внешнего поля на организм.

В целом можно сделать вывод, что значения показателя Хаусдорфа, а также колебательные характеристики хаос-ритмов дают возможность, во-первых, констатировать наличие «закономерного» хаоса в принятых электромагнитных излучениях, а во-вторых, характерное изменение структуры этого хаоса при действии ВИ ЭМП.

3. Анализ энергетического и информативного действия внешнего ЭМП

Энергетическое воздействие ВИ ЭМП на живой организм при минимальной информационной составляющей по определению оценивается в момент наименьшей величины показателя среднего состояния структуры (S_{min}) и амплитуды (A_{min}) хаос-ритма биообъекта в условиях постоянства частоты модуляции ВИ ЭМП. Эти условия

обуславливаются постоянной мощностью внешнего поля, длительностью воздействия на биообъект, не превышающего 2–3 периода исследуемого хаос-ритма и постоянной величины информативного параметра внешнего поля.

Для хаос-ритма-М уровень энергетического воздействия определяется на частоте 800 Гц: $D_{min} = 2,4403$, $D_{max} = 2,4647$, $S_{min} = 2,4525$, $A_{min} = 122$ ед. ПХД, $T_{эн} = 14,29$ сек. Для хаос-ритма-Б – на частоте 900 Гц: $D_{min} = 2,4580$, $D_{max} = 2,4761$, $S_{min} = 2,4670$, $A_{min} = 91$ ед. ПХД, $T_{эн} = 38,46$ сек (Таблица 1). Следовательно, значения параметров хаос-ритмов, превышающие представленные выше значения и зависящие от информативного параметра, характеризуют информационное воздействие ВИ ЭМП.

Так как информативным параметром в данном случае является частота амплитудной модуляции несущей ВИ ЭМП при неизменном показателе глубины модуляции, то информационное воздействие внешнего поля на биообъект оценивается отношением суммарной (энергетической плюс информационной) величины параметра реакции живого организма на внешнее поле к величине параметра реакции при минимальном участии информационной составляющей. К показателям реакции биообъекта на информационное воздействие внешнего поля относятся следующие (формулы и значения представлены в Таблице 1):

1) Структурный показатель хаос-ритма (S^*). Для хаос-ритма-М изменяется от минимального значения 1,026 до максимального 1,19 при среднем значении 1,0841. Следовательно, если при энергетическом воздействии внешнего поля на биообъект его реакцию принять за единицу (т. е. за 100 %), то реакция живого организма на информационное воздействие дополнительно составит от 2,6 % до 19 % в зависимости от информативного параметра ВИ ЭМП. В случае увеличения мощности внешнего поля (хаос-ритм-Б), структурный показатель в аналогичных условиях будет увеличиваться от 2,6 % до 11,6 % при среднем увеличении на 5,8 %, что меньше чем в хаос-ритме-М почти на 3 %.

2) Амплитудный показатель хаос-ритма (A^*). Для хаос-ритма-М изменяется в пределах от минимального значения 1,02 до максимального 3,83, при средней величине 1,892. То есть, величина амплитуды при хаос-ритме-М может увеличиваться при воздействии информативного параметра почти на 400 %. При аналогичных условиях хаос-ритма-Б величина A^* меняется от 1,32 до 3,51 при среднем значении 2,1.

3) Показатель периодичности колебаний хаос-ритма (T^*). Для хаос-ритма-М изменяется в пределах от минимального значения 0,392 до максимального 3,18, при средней величине 1,311. Хаос-ритм-Б оценивается величиной T^* от минимального значения 0,208 до максимального 2,73, при средней величине 0,564.

Все приведенные выше показатели характеризуют информационное воздействие ВИ ЭМП на живой организм, которое может превосходить энергетическое воздействие биообъекта по некоторым показателям почти в 4 раза. Следовательно, информационному воздействию на биообъект необходимо уделить внимание не меньше, чем энергетическому, а может быть и большее. Для этих целей можно использовать приведенные выше элементы технологии хаос-ритмов.

4. Анализ состояния биообъектов до и после воздействия ВИ ЭМП

Данные для анализа в виде параметров хаос-ритмов, зафиксированных до начала воздействия ВИ ЭМП и после его окончания, представлены в Таблице 2, где указаны также отношения величины каждого параметра, сформированного после воздействия внешнего поля, к величине этого же параметра, зафиксированного до воздействия внешнего поля. Кроме того, таблица дополнена данными о параметрах хаос-ритма другого биообъекта (мужчина 42 года, весом 93 кг, ростом 1,85 м), измеренных и рассчитанных по выше представленной методологии.

Таблица 2 – Сравнение параметров хаос-ритмов БО до и после воздействия ВИ ЭМП
Table 2 – Comparison of BO chaos-rhythm parameters before and after exposure to EI EMR

Параметры хаос-ритма	ВИ ЭМП малой мощности (1,2 мВ/м)			ВИ ЭМП большой мощности (6 мВ/м)		
	До действия ВИ ЭМИ	После действия ВИ ЭМИ	Отношение показателей	До действия ВИ ЭМИ	После действия ВИ ЭМИ	Отношение показателей
Объект: мужчина 20 лет, весом 64 кг, ростом 1,69 м						
D_{min}	2,4619	2,5270	1,0267	2,5270	2,5217	0,9979
D_{max}	2,4729	2,5482	1,0304	2,5482	2,5415	0,9973
S (ед. ПХД)	4671	5376	1,1509	5376	5316	0,9888
T/F (сек/Гц)	4/0,25	6,02/0,116	1,505/0,664	6,02/0,166	9,50/0,105	1,58/0,632
A (ед. ПХД)	58	101	1,74	101	116	1,15
Объект: мужчина 42 года, весом 93 кг, ростом 1,85 м						
D_{min}	2,4621	2,5211	1,024	2,5211	2,5117	0,9961
D_{max}	2,4800	2,5499	1,0282	2,5499	2,5463	0,9986
S (ед. ПХД)	4710	5355	1,133	5355	5290	0,9879
T/F (сек/Гц)	4,35/0,23	9,7/0,103	1,23/0,448	9,7/0,103	20,83/0,048	2,147/0,466
A (ед. ПХД)	89	144	1,62	144	173	1,20

Анализ приведенных в Таблице 2 данных показывает, что значения параметров хаос-ритмов, сформированных без воздействия ВИ ЭМП, носят колебательный характер и зависят от среднего состояния структуры хаоса (S) биообъекта, к которому привел хаос-ритм, сформированный под воздействием ВИ ЭМП и предшествующий данному, а также длительности периода формирования данного хаос-ритма без внешнего воздействия.

При отсутствии внешних воздействий биообъект формирует собственный хаос-ритм, параметры которого зависят от класса, к которому принадлежит биообъект и его физического, функционального и, возможно, психологического состояния. Следовательно, отношение показателей, приведенные в Таблице 2, могут использоваться в качестве информативных признаков биообъектов в соответствии с их массогабаритными параметрами.

Заключение

- Хаос-ритмы, полученные в результате проведенного эксперимента, отражают:
 - принадлежность полученного хаос-ритма живому организму;
 - физическое и возможно психологическое состояние живого организма (с точки зрения активности функционирования и состояния здоровья) как до и после воздействия, так и во время воздействия ВИ ЭМП;
 - зависимость параметров хаос-ритма от параметров ВИ ЭМП, последовательности и скорости их изменения;
 - зависимость параметров хаос-ритмов от класса биообъекта, его массогабаритных параметров и положения в пространстве.

1. Анализ параметров хаос-ритмов на основе представленной технологии позволяет оценивать степень воздействия энергетических и информационных составляющих внешних полей на окружающую среду, живые организмы, в том числе человека. На основе сравнения полученных результатов с «пороговыми» данными,

фиксируемыми в нормативных документах, можно определить необходимость и достаточность их уточнения или изменения.

2. Результаты проведенного натурального эксперимента подтверждают теоретические исследования [7, 8] о возможности обнаружения и распознавания биообъектов заданного класса, в том числе человека, по высокочастотной части излучаемой ими в режиме бифуркаций ШХС, позволяющего сформировать хаос-ритм, параметры которого выступают в качестве информативных признаков обнаруживаемого и распознаваемого биообъекта.

3. Технология хаос-ритма может найти применение в области медицинских исследований физического и, возможно, психического состояния организма человека и других биообъектов, а также определения влияния на них внешних воздействий, в том числе различных физических полей.

4. Технология хаос-ритмов и средства ее реализации при некоторой доработке могут быть использованы для разработки и испытания средств защиты окружающей среды и человека при использовании радиоизлучающих систем путем оперативной оценки изменения параметров хаос-ритмов биообъектов, а также при изменении методов и средств оперативного контроля безопасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Ларионов Ю.С., Ларионов В.С., Ярославцев Н.А., Приходько С.М., Баранова Е.И. Электромагнитный информационный подход к целостной естественно-научной картине материального мира. *Вестник Сибирской государственной геодезической академии*. 2014;(4):158–174.
Larionov Yu.S., Larionov V.S., Yaroslavtsev N.A., Prikhodko S.M., Baranova Ye.I. Electromagnetic information approach to the complete natural-science picture of the material. *Vestnik Sibirskoi gosudarstvennoi geodezicheskoi akademii*. 2014;(4):158–174. (In Russ.).
2. Okechukwu C.E. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure on Neurophysiology. *Advances in Human Biology*. 2020;10(1):6–10. https://doi.org/10.4103/AIHB.AIHB_96_19
3. Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Взаимодействие электромагнитных полей с биополем человека. *Проблемы физики, математики и техники*. 2012;(1):51–58.
Tsvetkova E.A., Goldade V.A. Interaction between electromagnetic fields and human biofield. *Problemy fiziki, matematiki i tekhniki = Problems of Physics, Mathematics and Technics*. 2012;(1):51–58. (In Russ.).
4. Грызлова О.Ю., Субботина Т.И., Хадарцев А.А., Яшин А.А., Яшин С.А. Биорезонансные эффекты при воздействии электромагнитных полей: физические модели и эксперимент. Москва: ООО «Издательство «Триада»; 2007. 159 с.
Gryzlova O.Yu., Subbotina T.I., Khadartsev A.A., Yashin A.A., Yashin S.A. Biorezonansnye efekty pri vozdeistvii elektromagnitnykh polei: fizicheskie modeli i eksperiment. Moscow: ООО «Izdatel'stvo «Triada»; 2007. 159 p. (In Russ.).
5. Марчук А.В., Цветков Г.А. Человек и среда обитания: еще одна скрытая угроза безопасности. В сборнике: *Проблемы обеспечения безопасности в промышленности, строительстве и на транспорте: Материалы международной научно-технической конференции, 20-21 октября 2010 года, Пермь, Россия*. Пермь: Пермский государственный технический университет; 2010. С. 84–91.
Marchuk A.V., Tsvetkov G.A. Chelovek i sreda obitaniya: eshche odna skrytaya ugroza bezopasnosti. In: *Problemy obespecheniya bezopasnosti v promyshlennosti, stroitel'stve i na transporte: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*,

- 20–21 October 2010, Perm, Russia. Perm: Perm State Technical University; 2010. P. 84–91. (In Russ.).
6. Hirata A., Diao Y., Onishi T., Sasaki K., Ahn S., Colombi D., De Santis V., Laakso I., Giaccone L., Wout J., Rashed E.A., Kainz W., Chen J. Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields: Review and Future Directions. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2021;63(5):1619–1630. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2021.3109249>
 7. Чубий А.Д., Жуков В.О. *Определение возможности дистанционной персональной идентификации человека по его собственным хаотическим электромагнитным излучениям*. Пермь: Изд-во ОАО СНИБ «Эльбрус»; 2011.
Chubii A.D., Zhukov V.O. *Opredelenie vozmozhnosti distantsionnoi personal'noi identifikatsii cheloveka po ego sobstvennym khaoticheskim elektromagnitnym izlucheniyam*. Perm: Izd-vo ОАО SNIB «El'brus»; 2011. (In Russ.).
 8. Tsvetkov G.A., Aleshkov A.A. Improving the efficiency of the physical protection system for oil and gas facilities (by the example of trunk pipelines). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1021/1/012031>
 9. Tsuchiya Y., Sasawaki Y., Yagita K. Circadian rhythms and physiological processes. *Encyclopedia of Sleep and Circadian Rhythms (Second Edition)*. 2023;48–55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822963-7.00292-9>
 10. Чубий А.Д. Закономерности и пределы снижения жизнеспособности и старения человека в условиях невесомости многолетнего космического полета (биорадиоинформативная технология). В сборнике: *IT+M&E`2015: Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии: Материалы Международной конференции IT+M&E`2015: Весенняя сессия, 02-12 июня 2015 года, Гурзуф, Россия*. Москва: Институт Новых Информационных Технологий; 2015. С. 322–327.
Chuby A.D. The patterns and limits of reduction vitality and aging in microgravity years of space flight (bioregionalisation technology). In: *IT+M&E`2015: Novye informatsionnye tekhnologii v meditsine, biologii, farmakologii i ekologii: Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii IT+M&E`2015: Vesenniyaya sessiya, 02-12 June 2015, Gurzuf, Russia*. Moscow: Institute of Information Technologies; 2015. P. 322–327. (In Russ.).
 11. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем. *Успехи физических наук*. 1996;166:1231–1243. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611f.1231>
Klimontovich Yu.L. Relative ordering criteria in open systems. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Physics-Uspekhi*. 1996;166:1231–1243. (In Russ.). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611f.1231>
 12. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. *Функциональная диагностика нервных болезней*. Москва: МЕДпресс-информ; 2022. 488 с.
Zenkov L.R., Ronkin M.A. *Funktsional'naya diagnostika nervnykh boleznei*. Moscow: MEDpress-inform; 2022. 488 p. (In Russ.).
 13. Тараненко А.М. Фракталы и мультифракталы в электрокардиограммах и электроэнцефалограммах: информативность и новые возможности. *Современные проблемы науки и образования*. 2019;(6). <https://doi.org/10.17513/spno.29500>
Taranenko A.M. Fractals and multifractals in electrocardiograms and electroencephalograms: informativity and new opportunities. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2019;(6). (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.29500>

14. Федер Е. *Фракталы*. Москва: Мир; 1991. 254 с.
Feder J. *Fractals*. Moscow: Mir; 1991. 254 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алешков Андрей Андреевич, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация.
Andrei A. Aleshkov, Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, the Russian Federation.
e-mail: xxg.andrew.ru@mail.ru

Цветков Геннадий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры Безопасность жизнедеятельности Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Российская Федерация.
Gennady A. Tsvetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety, Perm National Research Polytechnic University, Perm, the Russian Federation.
e-mail: zvetkov71043@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.04.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 20.05.2024.

The article was submitted 29.04.2024; approved after reviewing 13.05.2024; accepted for publication 20.05.2024.