

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9397/2023.3.03

УДК 681.51:621.391.008.05

А.А. Алешков, Г.А. ЦветковПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Российская Федерация**МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО СОБСТВЕННЫМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЯМ**

Обнаружение и распознавание нарушителей – первостепенная задача систем физической защиты (СФЗ), решаемая при помощи технических средств обнаружения (ТСО), которые в значительной мере определяют надежность всей системы и, следовательно, степень защищенности объекта. Тем не менее функционирование СФЗ зачастую осуществляется в условиях неопределенности и недостатка информации ввиду существенных ограничений применяемых ТСО и неадекватности реализуемых ими моделей нарушителей, что обуславливает потребность в поиске новых универсальных направлений развития ТСО. В качестве такого направления предлагается рассмотреть метод обнаружения и распознавания нарушителей по собственным электромагнитным излучениям в виде широкополосных хаотических сигналов, возникающих под действием внешнего информативного электромагнитного поля. **Цель исследования:** разработка научно-методического аппарата электромагнитного обнаружения и распознавания биологических объектов по собственным электромагнитным излучениям. **Результаты:** приведены физические основы и концепция электромагнитного обнаружения биологических объектов, а также математическая модель этой концепции и результаты её аналитического исследования. Адекватность разработанной модели и наличие взаимосвязи между характеристиками и величиной присущего биологическому объекту излучения и интенсивностью внешнего электромагнитного поля были подтверждены экспериментальными исследованиями. Кроме того, для повышения эффективности процедуры обнаружения и реализации процедуры распознавания биообъект рассмотрен в виде открытой биологической системы с определенными хаотическими режимами. В ходе исследований подтверждена возможность распознавания биологического объекта заданного класса, в том числе человека, по излучаемым ими в режиме бифуркаций широкополосным хаотическим сигналам под воздействием внешнего электромагнитного поля, позволяющего сформировать хаос-ритм, параметры которого (период и амплитуда колебаний, средний показатель Хаусдорфа) выступают в качестве информативных признаков биообъекта. Согласно представленной концепции, каждый биологический объект имеет уникальный электромагнитный образ (зависимость параметров хаос-ритма от информативного параметра внешнего электромагнитного поля), описание которого обеспечит распознавание человека.

Ключевые слова: биологический объект, нарушитель, электромагнитные поля, обнаружение и распознавание, биорадиоинформативная технология, физическая защита.

A.A. Aleshkov, G.A. Tsvetkov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

METHOD OF DETECTION AND RECOGNITION BIOLOGICAL OBJECTS BY ITS OWN ELECTROMAGNETIC EMISSIONS

Detecting and recognizing intruders is the primary task of physical protection systems (PPS), which is solved by means of detection equipment (DE), which largely determines the reliability of the entire system and, consequently, the degree of protection of the object. Nevertheless, the functioning of PPS is often carried out in conditions of uncertainty and lack of information due to the significant limitations of the applied DE and inadequacy of their realized models of intruders, which determines the need to search for new universal directions of development of DE. As such a direction it is proposed to consider the method of detection and recognition of intruders by their own electromagnetic emissions in the form of broadband chaotic signals arising under the influence of an external informative electromagnetic field. **Purpose:** development of scientific and methodological apparatus of electromagnetic detection and recognition of biological objects by their own electromagnetic emissions. **Results:** the physical basis and the concept of electromagnetic detection of biological objects, as well as the mathematical model of this concept and the results of its analytical study are presented. Adequacy of the developed model and the presence of relationship between the characteristics and magnitude of the inherent radiation of the biological object and the intensity of the external electromagnetic field were confirmed by experimental studies. In addition, to increase the efficiency of the detection procedure and the implementation of the recognition procedure, the biobject was considered as an open biological system with certain chaotic modes. Studies confirmed the possibility of recognizing a biological object of a given class, including humans, by the broadband chaotic signals they emit in bifurcation mode under the influence of an external electromagnetic field, which allows the formation of a chaotic rhythm, whose parameters (period and amplitude of the oscillations, the average Hausdorff exponent) act as informative features of the biobject. According to the presented concept, each biological object has a unique electromagnetic image (the dependence of the parameters of the chaos-rhythm on the informative parameter of the external electromagnetic field). The description of this image for a human and provide its recognition.

Keywords: biological object, intruder, electromagnetic fields, detection and recognition, bioradioinformative technology, physical protection.

Введение

Существование объектов важного государственного и военного значения требует создания надежных систем охраны, и, естественно, ведущая роль в их техническом оснащении при наблюдении за контролируемым пространством отводится техническим средствам обнаружения (ТСО). Несмотря на достигнутый к настоящему времени прогресс в разработке и производстве подобных устройств, вопрос решения задач информационного обеспечения системы охраны удаленных объектов, расположенных в сложных природно-климатических условиях, и получения достоверной информации об объектах вторжения при нестационарном характере воздействия окружающей среды остается актуальным по сей день [1–5].

Опыт испытаний и эксплуатации ТСО показывает, что наиболее острой проблемой у современных средств обнаружения в подобных условиях является снижение числа ложных тревог при сохранении и даже повышении вероятности обнаружения нарушителя, а также скудные возможности по автоматическому распознаванию нарушителей [1–3]. Необходимость борьбы с ложными тревогами и получения дополнительной информации о нарушителях обусловливается следующими основными факторами [6]:

- дезинформацией обслуживающего персонала относительно действительного состояния в охраняемой зоне;
- повышением стоимости системы, связанной с ложными вызовами;
- потенциальной опасностью для личного состава оказаться пораженными техническими средствами воздействия;
- снижением эффективности системы охраны в силу непроизводительного расхода средств воздействия и др.

Одним из путей решения этой сложной проблемы является метод комплексирования разнотипных ТСО, минимально взаимосвязанных между собой как по реализуемой модели нарушителя, так и по физическому принципу функционирования. Такой подход неизменно влечет значительные и не всегда оправданные затраты, обусловленные аппаратурной избыточностью системы охраны при весьма ограниченном функциональном наборе его возможностей [6–9].

Очевидно, что использование традиционных принципов построения ТСО на основе сейсмики, магнитометрии, емкостных и индуктивных эффектов и радиолокационных принципов и т.д. не в состоянии коренным образом разрешить противоречия, возникающего между основными показателями их качества.

Поэтому для решения этой задачи целесообразно разработать новую методику обнаружения и распознавания нарушителей, которая позволит реализовать эффективную процедуру распознавания как за счет использования такого физического признака человека как нарушителя, который максимально отличался бы от сигналов внешней среды, так и за счет процедуры распознавания на основе априорной информации при использовании методов распознавания образов в аппаратуре управления и контроля.

В качестве такого признака, в частности, могут выступать собственные электромагнитные излучения (ЭМИ) биологических объектов

(БО), возникающих при его взаимодействии с внешним информационным электромагнитным полем (ВИ ЭМП) радиоволнового диапазона с заданными напряженностью, модуляционно-временными параметрами и поляризацией волны [10, 11].

1. Концепция электромагнитного обнаружения и распознавания нарушителей

В 80–90-х гг. была сформулирована одна из смелых гипотез о возможной роли электромагнитных полей (ЭМП) различной природы в процессах жизнедеятельности живых организмов. Её смысл заключается в следующем: «Живые организмы, будь то человек, животное (и даже самые простейшие из них – одиночные клетки), адекватно приспособливают своё функционирование к непрерывным переменам в условиях существования, связанным с изменениями как в самом организме, так и во внешней среде, и создают вокруг себя различные физические поля и излучения. Сложная картина этих полей отражает работу физиологических систем организма, обеспечивающих его гомеостаз, т.е. постоянство внутренней среды ...» [12].

На основании проведенного анализа публикаций по теоретическим и экспериментальным исследованиям особенностей биологического действия внешнего ЭМП радиоволнового диапазона, механизмов его восприятия и генерации собственных ЭМИ БО [13–19], можно описать специфическое действие электромагнитных волн на биологические структуры.

Биологический объект – автоколебательная система со стохастическим (случайным) поведением, которая является источником шумовых сигналов электромагнитной энергии, излучающихся в окружающее пространство на небольшое расстояние. Внешнее ЭМП синхронизирует взаимодействие клеточных осцилляторов (фазовое согласование), они начинают излучать синфазно, и наблюдается процесс когерентного суммирования собственных ЭМИ клеток. Образуется синхронный волновой фронт взаимодействующих между собой клеточных осцилляторов в виде малоамплитудного излучения, которое на расстоянии более нескольких метров затруднительно отличить от естественного электромагнитного фона.

Однако при достижении внешним полем определенных пороговых значений информационных параметров (частота, модуляция,

поляризация и т.п.) происходят процессы когерентного и стохастического резонанса в шумовом спектре собственных электромагнитных полей БО, приводящих к появлению релаксационных колебаний большой амплитуды. В результате происходит усиление накладываемого на шум сигнала (увеличение отношения сигнал/шум) и распространение широкополосных хаотических сигналов (ШХС) БО на большое расстояние. При условии, что ШХС БО зависят не только от внешнего ЭМП, но и от параметров самой БС, их можно использовать в качестве идентификационного признака человека-нарушителя. Внешнее ЭМП при этом должно быть низкоинтенсивным (условие стохастического резонанса) и информативным (условие когерентного резонанса).

На основе вышеизложенного сформулирована концепция электромагнитного обнаружения и распознавания нарушителей (биообъектов) охранных зон за счет регистрации и анализа параметров собственных ЭМИ в виде ШХС, формирующихся организмом БО в диапазоне частот 0,3–30 МГц в условиях воздействия низкоинтенсивного ВИ ЭМП радиоволнового диапазона с заданными напряжённостью и модуляционно-временными параметрами [11, 19].

Концепция предполагает существование физической взаимосвязи между характеристиками присущего БО излучения и его массогабаритными размерами. Необходимым и достаточным условием достижения требуемой информативности внешнего поля является некоторое соответствие заданных параметров поля структурной организации и параметрам управления БО.

2. Модель биологического объекта

Для подтверждения представленной концепции разработана модель биологического объекта в виде открытой бифуркационной биологической системы (ОББС) на основе работ [11, 16–20], приведены результаты проведенных авторами исследований выявленной взаимосвязи собственного ЭМИ БО и внешнего ЭМП.

Поскольку ОББС является пространственно-неоднородной, весь её объем разбивается на отдельные элементы (рис. 1), а именно:

1) множество M моделей биослоев, каждый из которых включает расширенную модель Гирера–Майнхарда (РГМ), блок взаимной электроативности слоев (ВЭС), блок ослабления внешнего ЭМП (ОВП) и блок положения биообъекта в пространстве (ПП);

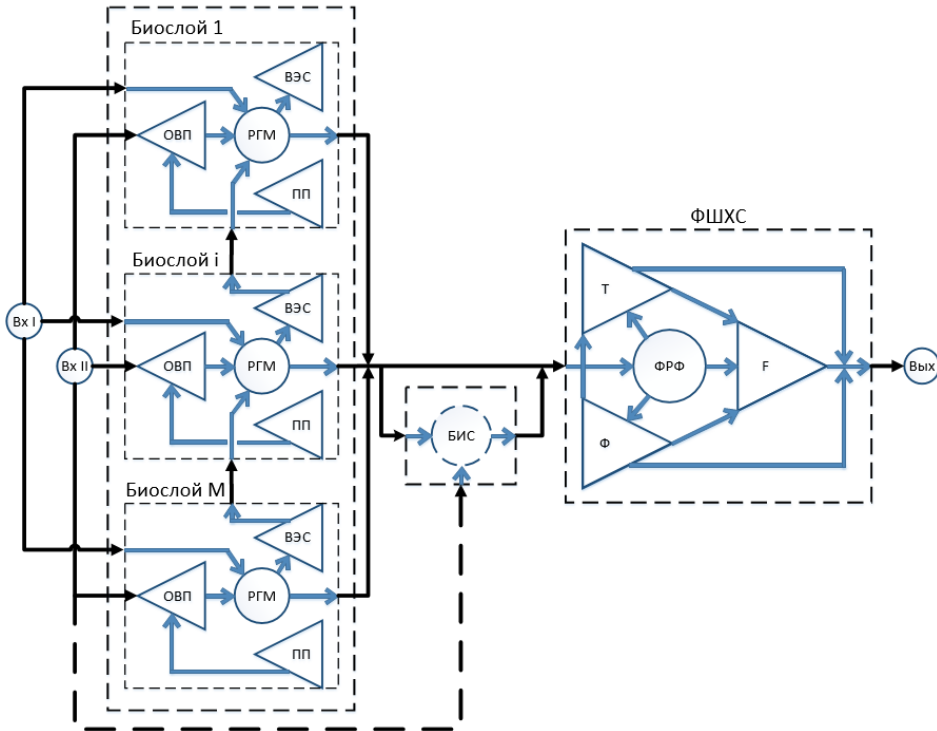


Рис. 1. Модель биологической системы, формирующей ШХС

2) модель бифуркационного изменения структуры (БИС) хаотических электромагнитных колебаний в биообъекте, формирующейся или не формирующейся в зависимости от состояния моделей биослоев и воздействия ВИ ЭМП;

3) модель формирования широкополосного хаотического сигнала (ФШХС) биообъекта, включающая блок формирования рядов Фурье (ФРФ) и блок нелинейной кольцевой колебательной системы с запаздыванием (Т-Ф-Ф).

На первый вход модели B_{xI} биообъекта поступают сигналы $X_I(t)$ внешней среды обеспечения жизнедеятельности биообъекта как живого организма, его органов и тканей, которые при взаимодействии с ними генерируют комплексную амплитуду U_r [11, 19]:

$$X_I(t) = \sum_{r=1}^m (U_r \cdot e^{i \cdot \omega_I^r \cdot t}), \quad (1)$$

где U_r – комплексная амплитуда гармонических составляющих на частотах ω_I^r .

Этот сигнал обуславливает излучение в окружающее пространство шумовых сигналов электромагнитной энергии S_{ch} , свыше 90 % которых составляют низкочастотные сигналы радиодиапазона и тепловые сигналы ИК-диапазона.

На второй вход модели Vx_{II} подается сигнал ВИ ЭМП, воздействующий на биослои, состоящие из клеток и межклеточной токопроводящей жидкости. Последняя обуславливает реакции в виде собственных электромагнитных малоимпульсных излучений биообъекта на несущей частоте ВИ ЭМП. Сигнал ВИ ЭМП характеризуется комплексной амплитудой V_r [11, 19]:

$$X_{II}(t) = \sum_{r=1}^n (V_r \cdot e^{i \cdot \omega_{II}^r \cdot t}), \quad (2)$$

где V_r – комплексная амплитуда гармонических составляющих на частотах ω_{II}^r .

Сигнал ВИ ЭМП воздействует на клетки биослоев в качестве бифуркационного параметра A модели Гирера–Майнхарда [21].

В соответствии с подающимися сигналами на входы модели условно можно определить три режима функционирования биообъекта:

- 1-й режим – функционирование без воздействия на Vx_{II} ВИ ЭМП;
- 2-й режим – функционирование с воздействием на входы обоих сигналов, но при этом бифуркационный параметр A в виде ВИ ЭМП меньше некоторой величины A_I , и в результате в биослоях возникают малоамплитудные излучения;

- 3-й режим – бифуркационное функционирование биообъекта с воздействием на входы обоих сигналов, но при этом изменение бифуркационного параметра A находится в пределах $A_I \leq A \leq A_{II}$, и в биослоях возникают релаксационные колебания типа «пичков» большой амплитуды.

Следует учесть, что сигнал ВИ ЭМП воздействует на биообъект по-разному в зависимости от положения биообъекта в пространстве по отношению к направлению потока ВИ ЭМП и поляризации его волны [18]. Эту закономерность определяет блок положения биообъекта в пространстве.

Математическая модель включает некоторые упрощающие и ограничивающие допущения: объём, занимаемый БС, считается эллипсоидом вращения, находящимся в вертикальном состоянии, среда счи-

тается однородной и изотропной. Это позволяет упростить рассуждения влияния входного сигнала ВИ ЭМП и применять аппроксимированное решение уравнений Максвелла, как в предыдущей модели.

В результате воздействия $X_{II}(t)$ на биообъект напряженность излучаемых сигналов биообъектом будет следующей:

$$H_{\alpha} = \frac{\omega^2 \cdot H_{\text{вн}}}{c^2 (R_0 + R)} \cdot \frac{a \cdot b \cdot D}{3(1 - n^x)} \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$E_{\alpha} = \frac{\omega^2 \cdot E_{\text{вн}}}{c^2 (R_0 + R)} \cdot \frac{a \cdot b \cdot D}{6n^x} \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

$$H_{\theta} = \frac{\omega^2 \cdot H_{\text{вн}}}{c^2 (R_0 + R)} \cdot \frac{a \cdot b \cdot D}{3(1 - n^x)} \cdot \sin \theta, \quad (5)$$

$$E_{\theta} = \frac{\omega^2 \cdot E_{\text{вн}}}{c^2 (R_0 + R)} \cdot \frac{a \cdot b \cdot D}{6n^x} \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где $H_{\text{вн}}$, $E_{\text{вн}}$ – амплитуда ВИ ЭМП (поляризация волны совпадает с ростом D биообъекта); $\omega = 2\pi f$ – несущая частота ВИ ЭМП в диапазоне 1–80 МГц; c – скорость распространения электромагнитной волны в свободном пространстве; R_0 – размер измеряющего устройства; R – расстояние от биообъекта до точки измерения излучаемого сигнала; a , b – малые полуоси; $D/2$ – большая полуось вращения как модели биообъекта; α , θ – направления ЭМИ биообъекта; n^x – коэффициент деполяризации:

$$n_x = \frac{1 - e}{2e^2} \cdot \left(\ln \frac{1 + e}{1 - e} - 2e \right), \quad (7)$$

где e – эксцентриситет:

$$e = \sqrt{1 - \frac{4a^2}{D^2}}. \quad (8)$$

Таким образом, на выходе модели биообъекта будем получать излучаемые сигналы, структура которых зависит как от параметров ВИ ЭМП, так и от внутренних процессов, протекающих в биообъекте.

На выходе модели БО, находящемся в третьем режиме (бифуркационном), получаем ШХС, структура которых зависит как от парамет-

ров ВИ ЭМП, так и от внутренних процессов, протекающих в биообъекте и распространяющихся на значительные расстояния от него. Поэтому для определения и анализа информативных признаков человека-нарушителя необходимо рассматривать этот режим функционирования биологической системы.

Для проверки адекватности модели экспериментально измерено влияние слабых структурированных полей на электромагнитное излучение БО. Результаты эксперимента в графическом виде представлены на рис. 2. Характерная форма экспериментально полученной зависимости присущего БС ЭМИ от напряженности внешнего поля доказывает, что отклик БО на это внешнее воздействие имеет нелинейный характер, и это подтверждает достоверность аналитических выводов.

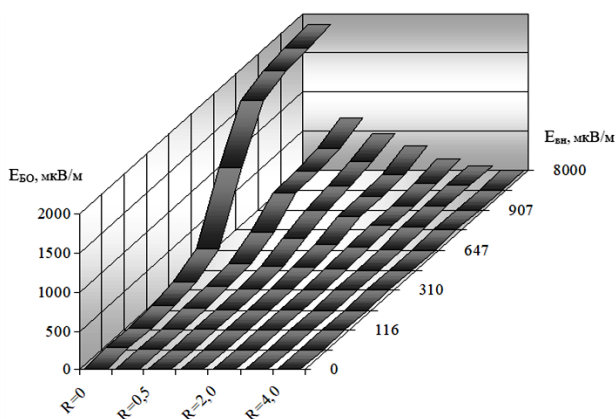


Рис. 2. Экспериментальные зависимости величины ЭМИ нарушителей (E_{BO}) от напряженности внешнего поля ($E_{вн}$) на различном расстоянии до антенны (R , м)

В зависимости выделяются три основных сегмента. Первый (интенсивность внешнего поля 0–159 мкВ/м) и третий (интенсивность внешнего поля 810–8000 мкВ/м) сегменты соответствуют модели пассивной среды, когда реакция БО на внешний эффект линейна. Это вызвано в основном многополюсным излучением, эффектами емкости и индуктивности и увеличением эффективной длины приемной антенны. Во втором сегменте (напряженность внешнего поля 159–810 мкВ/м) показан случай, когда собственная среда БС становится активной и вносит вклад в собственное излучение БО. В этом случае отклик почти в два раза превосходит внешний эффект, что может быть объяснено только резонансными явлениями.

Значительное превышение суммарного сигнала «нарушитель + внешнее поле» над уровнем естественного электромагнитного фона (отношение сигнал/шум более 100) обеспечивает необходимую чувствительность и избирательность для идентификации БО.

Присутствующий на графике специфический режим «насыщения» (сегмент 3) подтверждает, что идентификация БС возможна при заданном значении напряженности внешнего поля.

3. Идентификационные признаки человека-нарушителя

Для распознавания БО и отнесения его к определенному классу в рамках рассматриваемой модели предлагается идентифицировать степень хаотичности излучений объекта в режиме бифуркации при воздействии ВИ ЭМП и определить параметры их динамики.

Наиболее подходящим аппаратом моделирования подобных пространственно-временных, динамических процессов является теория фракталов, которая оперирует не с целочисленными, а дробными мерами, т.е. базируется на количественных показателях в форме дробных размерностей [22]. В качестве такой размерности в рамках исследования используется показатель Хаусдорфа – математическое определение фрактальных свойств хаотических ЭМИ организма, связанных с емкостной размерностью.

Показатель Хаусдорфа (D_{\min}, D_{\max}) определяется по формуле [23]:

$$D = 1 + \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\lg N(\epsilon)}{\lg \epsilon^{-1}}, \quad (9)$$

где $N(\epsilon)$ – минимальное количество малых квадратов, покрывающих множество точек $N_{0,\epsilon}$ – величина стороны квадрата. При этом $N(\epsilon) < N_0, \epsilon \rightarrow 0$.

Зависимость показателя Хаусдорфа от времени формирует хаос-ритм. Под хаос-ритмом понимается биологический физиологический ритм, определяющий непрерывные колебания уровня функциональной активности биообъекта в зависимости от внутренних потребностей организма и факторов окружающей среды, в том числе бифуркационного параметра в виде ВИ ЭМП [11, 24, 25]. Сигналы, принятые от биообъекта в виде хаос-ритма, параметры которого зависят от алгоритма изменения бифуркационного параметра, т.е. от ВИ ЭМП, являются сигналами от живого организма и характеризуют основную форму его жизнедеятельности.

Хаос-ритмы оцениваются следующими параметрами [23]:

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

$$T = \frac{1}{F}, \quad (10)$$

где F – частота хаос-ритма, т.е. 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 определяется за период ритма T по формуле:

$$S = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}. \quad (11)$$

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 :

$$A = 0,5 \cdot (S - 2) \cdot 10^4. \quad (12)$$

Исходя из того, что собственные хаотические ЭМИ организма формируются на каждой несущей частоте f_n излучаемого организмом множества частот радиодиапазона в условиях как отсутствия, так и наличия внешнего воздействия на него, в том числе воздействия внешних ЭМИ, то структуру хаоса необходимо определять параметрами закономерностей изменения во времени показателя Хаусдорфа на нескольких несущих частотах.

В качестве информативного параметра ВИ ЭМИ может использоваться несущая частота, поляризация волны, импульсная, а, возможно, и другие виды модуляции.

Для проверки сделанных выводов авторами проведены экспериментальные исследования хаос-ритмов собственных ЭМИ БО в виде ШХС под действием амплитудно-модулированного ЭМИ.

Эксперимент предусматривает:

1. Формирование ВИ ЭМИ напряженностью 1,2 и 6 мВ/м на несущей частоте 25 МГц с частотой амплитудной модуляции в пределах

500–1500 Гц (исследование зависимости параметров хаос-ритма от частотно-амплитудной модуляции проводилось только для человека путем изменения частоты модуляции каждые 3 мин на 100 Гц).

2. Дистанционный радиоприем (расстояние 15 м) собственных хаотических ЭМИ БО на каждой фиксированной несущей частоте f_{ni} ограниченного множества частот, где $i = 1, 2, \dots, n$. Несущая частота ЭМИ и поддиапазоны их изменений: 0,3–164 Гц; 10 МГц \pm 15 Гц; 20 МГц \pm 15 Гц; 20 МГц \pm 150 Гц; 30 МГц \pm 15 Гц.

3. Преобразование полученных сигналов во фрактальную структуру сечения Пуанкаре, её оценка показателем Хаусдорфа, формирование зависимости показателя Хаусдорфа от времени в виде хаос-ритма и определение его параметров.

4. Анализ хаос-ритмов, оценка зависимости их параметров от параметров БО и ВИ ЭМП.

Результаты эксперимента представлены в графической форме на рис. 3. Характер изменения параметров хаос-ритма и показателя Хаусдорфа в зависимости от частоты амплитудной модуляции ВИ ЭМИ представлен в таблице.

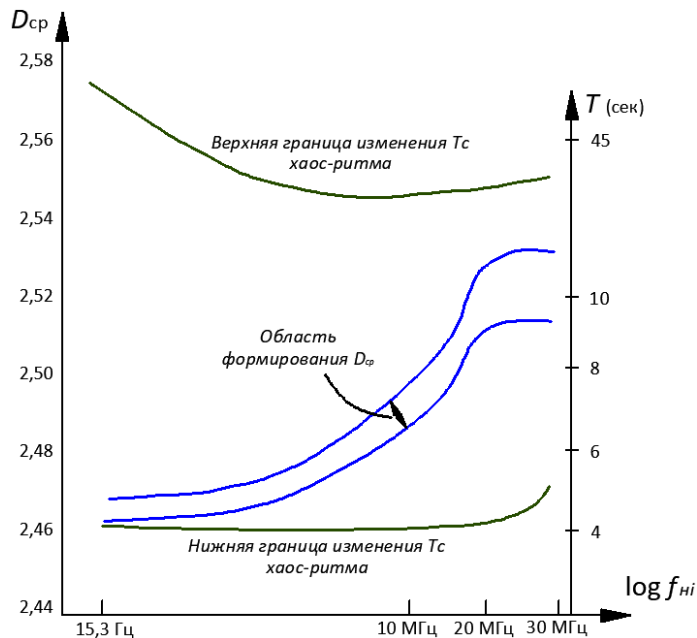


Рис. 3. Кривые среднего значения показателя Хаусдорфа и длительности периода его колебаний в зависимости от номиналов несущих частот ЭМИ радиодиапазона человека ($E_{вн} = 1,2$ мВ/м)

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

Параметры хаос-ритма	Частота модуляции ВИ ЭМП (Гц)												
	Нет ЭМП	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	Нет ЭМП
Хаос-ритм-М (ВИ ЭМП малой мощности $E_{\text{ин}}=1,2$ мВ/м)													
D_{min}	2,4613	2,4580	2,4776	2,4329	2,4403	2,4877	2,4737	2,4696	2,4959	2,4999	2,4761	2,5184	2,5270
D_{max}	2,4729	2,4854	2,4915	2,5263	2,4647	2,5917	2,4862	2,4944	2,5553	2,5599	2,5494	2,5588	2,5482
S (ед. ПХД)	2,4671	2,4717	2,4645	2,4746	2,4525	2,5037	2,4800	2,4820	2,5256	2,5311	2,5127	2,5386	2,5376
T (с)/ F (Гц)	4,0/0,25	7,19/ 0,39	5,61/ 0,178	38,46/ 0,026	14,29/ 0,069	9,35/ 0,107	12,82/ 0,078	14,29/ 0,069	20,0/ 0,05	21,3/ 0,08	45,45/ 0,022	20,0/ 0,05	6,02/ 0,166
A (ед. ПХД)	58	137	270	467	122	160	162	124	297	311	367	202	101
Хаос-ритм-Б (ВИ ЭМП большой мощности $E_{\text{ин}}=6,0$ мВ/м)													
D_{min}	2,527	2,501	2,501	2,4729	2,4605	2,468	2,4696	2,4554	2,4688	2,4688	2,48	2,4877	2,5017
D_{max}	2,5482	2,5421	2,5366	2,5067	2,4981	2,4761	2,5109	2,5191	2,5237	2,5031	2,5157	2,5116	2,5415
S (ед. ПХД)	2,5376	2,5215	2,5188	2,4898	2,4793	2,4670	2,4902	2,4872	2,4962	2,4909	2,4978	2,4978	2,5216
T (с)/ F (Гц)	6,02/ 0,166	9,35/ 0,107	10,75/ 0,093	10,53/ 0,095	10,99/ 0,091	38,46/ 0,026	16,39/ 0,061	10,87/ 0,092	8,62/ 0,116	8,0/ 0,125	10,53/ 0,095	10,00/ 0,1	17,24/ 0,058
A (ед. ПХД)	101	206	178	169	188	91	207	319	275	172	179	120	199

Обобщая результаты исследования, можно сделать вывод о том, что хаос-ритмы отражают:

1. Принадлежность полученного хаос-ритма живому организму: оценка ЭМИ БО на $f_{\text{ни}}$ показателем Хаусдорфа обеспечивает обнаружение биообъекта в контролируемом пространстве;

2. Зависимость параметров хаос-ритма от параметров ВИ ЭМП, последовательности и скорости их изменения: подтверждение информативности параметров ВИ ЭМИ;

3. Зависимость параметров хаос-ритмов от класса биообъекта, его массагабаритных параметров и положения в пространстве по отношению к направлению потока энергии ВИ ЭМП: каждый БО имеет уникальный электромагнитный образ (зависимость параметров хаос-ритма от информативного параметра ВИ ЭМП на определенных несущих частотах), описание того образа для человека обеспечит его распознавание.

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

Заключение

Проведённые теоретические исследования и натурные эксперименты зависимости характера и величины собственных излучений нарушителей от напряжённости и информационных параметров внешнего низкоинтенсивного ЭМП радиоволнового диапазона позволили сформулировать и доказать принципы достижения и условия существования метода электромагнитного обнаружения и распознавания биологических объектов-нарушителей контролируемого пространства.

Динамика в пространстве и времени собственных ШХС несет глубоко индивидуальную информацию о структуре и функционировании биологических объектов, которая может быть использована в целях выявления (расознавания) и селекции информативных признаков нарушителей, а также их дальнейшего анализа в ТСО.

Применение данного метода позволит повысить степень полноты, избирательности и достоверности информации о состоянии контролируемой зоны за счет реакции только на живые организмы, а именно их наиболее информативные признаки.

Библиографический список

1. Алешков А.А., Цветков Г.А. Современные проблемы обеспечения физической безопасности магистральных трубопроводов // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 70–2. – С. 109–118. DOI: 10.18411/lj-02-2021-66
2. Pipeline Security / L. Talarico, K. Sorensen, Genserik Reniers, J. Springael // Securing Transportation Systems. – 2015. – P. 281–311. DOI: 10.1002/9781119078203.ch15
3. Aleshkov A.A., Tsvetkov G.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. – May, 2022. – Vol. 1021. IOP Publishing. – 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012031
4. Towards a causal model from pipeline incident data analysis / S.Z. Halim, M. Yu, H. Escobar, N. Quddus // Process Safety and Environmental Protection. – 2020. – № 143. – P. 348–360. DOI: 10.1016/j.psep.2020.06.047

5. О структуре системы физической защиты магистральных трубопроводов от преднамеренных угроз / В.А. Комаров, З.В. Семенова, Д.А. Бронников, А.А. Нигрей // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – № 1 (19). – С. 87–100.

6. Бондарчук А.С. Система охраны и обороны важных государственных объектов и оценка эффективности её функционирования: монография / под. ред. В.П. Герасимени. – Пермь: Изд-во ПВИ ВВ МВД России, 2011. – 190 с.

7. Ворона В.А., Тихонов В.А. Технические системы охранной и пожарной сигнализации. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 376 с. (Сер. Обеспечение безопасности объектов).

8. Бондарчук А.С., Зарубский В.Г., Башарин А.А. Методика повышения эффективности функционирования системы безопасности объектов особой важности // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 11. – С. 42–46.

9. Development of a security system based on Zigbee devices / H. Khujamatov, B. Maxkamov, N. Akhmedov, N. Lazarev // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – 2022. – P. 1–5. DOI: 10.1109/ICISCT55600.2022.10147017

10. Bioradar technology: Recent research and advancements / Y. Zhang, F. Qi, H. Lv, F. Liang, J. Wang // IEEE Microwave Magazine. – Aug, 2019. – Vol. 20, № 8. – P. 58–73. DOI: 10.1109/MMM.2019.2915491

11. 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.

12. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Голант М.Б. Использование когерентных волн в медицине и биологии // Международная инфосистема по резонансным технологиям. – 1998. – № 2.

13. An electromagnetic model of human vital signs detection and its experimental validation / Sabikun Nahar, T. Phan, Farhan Quaiyum, Lingyun Ren, A. Fathy, O. Kilic // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems. – 2018. – 8. – P. 338–349. DOI: 10.1109/JETCAS.2018.2811339

14. Биорезонансные эффекты при воздействии электромагнитных полей: физические модели и эксперимент: монография / С.А. Яшин [и др.]; под ред. А.А. Яшина; НИИ НМТ, НИЦ «Матрикс». – Москва–Тверь–Тула: Триада, 2007. – 160 с.

15. Субботина Т.И., Царегородцев И.А., Яшин А.А. Регистрация медленно меняющихся составляющих интегративного электромагнитного поля биообъекта // XVIII научная сессия, посв. Дню радио. – Тула, 2001. – С. 58.

16. Чубий А.Д., Жуков В.О. Электромагнитный образ человека на основе нормы хаотичности собственных излучений в условиях воздействия техногенных полей окружающей среды // Ежегодник Рос. нац. комитета по защите от непозиционирующих излучений. – М.: АЛЛАНА, 2006. – С. 172–198.

17. Яшин С.А. Система регистрации собственных низкоинтенсивных электромагнитных полей организма человека // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20, № 3. – С. 157–163.

18. Чубий А.Д., Жуков В.О., Цветков Г.А. Биорадиоинформативный метод оценки эффективности защиты от техногенного электромагнитного излучения // Проблемы и перспективы рационального управления эксплуатацией вооружения: материалы IX межвуз. науч.-техн. сем. (Пермский ВИ РВ). – Пермь, 2002.

19. Марчук А.В. Основы теории электромагнитной идентификации биологических объектов в эргатических системах: препринт. – Пермь: Изд-во УрО РАН, 1998. – 95 с.

20. Чубий А.Д., Жуков В.О. Технология ликвидации хаоса собственных хаотических электромагнитных излучений живых организмов (биорадиоинформативная технология) // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. IT+M&E'. – 2013. – С. 201–203.

21. Полежаев А.А., Борина М.Ю. Пространственно-временные структуры в активной среде, вызванные диффузионной неустойчивостью // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – Т. 22, № 2. – С. 116–130. DOI: 10.18500/0869-6632-2014-22-2-116-129

22. Грызлова О.Ю. Биорезонансные эффекты в естественных и искусственных электромагнитных полях как фактор жизнедеятельности: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.02. – Тула, 2005. – 19 с.

23. Федер Е. Фракталы: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

24. Марчук А.В., Цветков Г.А. Человек и среда обитания: еще одна скрытая угроза безопасности // Проблемы обеспечения безопасности в промышленности, строительстве и на транспорте: материалы междунар. науч.-техн. конф. – 2010. – С. 84–91.

25. Чубий А.Д. Закономерности и пределы снижения жизнеспособности и старения человека в условиях невесомости многолетнего космического полета (биорадиоинформативная технология) // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. IT+M&E' – 2015. – С. 322–327.

References

1. Aleshkov A.A., Tsvetkov G.A. Sovremennye problemy obespecheniia fizicheskoi bezopasnosti magistral'nykh truboprovodov [Modern problems of physical safety of trunk pipelines]. *Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia*, 2021, no. 70-2, pp. 109-118. DOI: 10.18411/lj-02-2021-66

2. Talarico L., Sorensen K., Reniers Genserik, Springael J. Pipeline Security. *Securing Transportation Systems*. 2015. pp. 281-311. DOI: 10.1002/9781119078203.ch15

3. Aleshkov A.A., Tsvetkov G.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*. May, 2022, vol. 1021. IOP Publishing. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012031

4. Halim S.Z., Yu M., Escobar H., Quddus N. Towards a causal model from pipeline incident data analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, no. 143, pp. 348-360. DOI: 10.1016/j.psep.2020.06.047

5. Komarov V.A., Semenova Z.V., Bronnikov D.A., Nigrei A.A. O strukture sistemy fizicheskoi zashchity magistral'nykh truboprovodov ot prednamerennykh ugroz. [On the structure of the system of physical protection of trunk pipelines against deliberate threats]. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftgazovoe i gornoe delo*, 2019, no. 1 (19), pp. 87-100.

6. Bondarchuk A.S. Sistema okhrany i oborony vazhnykh gosudarstvennykh ob"ektov i otsenka effektivnosti ee funktsionirovaniia [The system of protection and defense of important state facilities and assessment of the efficiency of its functioning]. Ed. V.P. Gerasimeni. Perm': Permskii voennyi institut vnutrennikh voisk MVD Rossii, 2011, 190 p.

7. Vorona V.A., Tikhonov V.A. Tekhnicheskie sistemy okhrannoi i pozharnoi signalizatsii [Technical security and fire alarm systems]. Moscow: Goriachaia liniia-Telekom, 2012, 376 p. (Obespechenie bezopasnosti ob"ektov).

8. Bondarchuk A.S., Zarubskii V.G., Basharin A.A. Metodika povysheniia effektivnosti funktsionirovaniia sistemy bezopasnosti ob"ektov osovoi vazhnosti [Methodology for improving the efficiency of the security system for facilities of special importance]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2022, no. 11, pp. 42-46.

9. Khujamatov H., Maxkamov B., Akhmedov N., Lazarev N. Development of a security system based on Zigbee devices. *International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, 2022, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICISCT55600.2022.10147017

10. Zhang Y., Qi F., Lv H., Liang F., Wang J. Bioradar technology: Recent research and advancements. *IEEE Microwave Magazine*, Aug, 2019, vol. 20, no. 8, pp. 58-73. DOI: 10.1109/MMM.2019.2915491

11. Chubii A.D., Zhukov V.O. Opredelenie vozmozhnosti distantsionnoi personal'noi identifikatsii cheloveka po ego sobstvennym khaoticheskim elektromagnitnym izlucheniim [Determination of possibility of remote personal identification of a person by his own chaotic electromagnetic radiations]. Perm': OAO SNIB "El'brus", 2011.

12. Deviatkov N.D., Betskii O.V., Golant M.B. Ispol'zovanie kogerentnykh voln v meditsine i biologii [The use of coherent waves in medicine and biology]. *Mezhdunarodnaia infosistema po rezonansnym tekhnologiiam*, 1998, no. 2.

13. Nahar Sabikun, Phan T., Quaiyum Farhan, Ren Lingyun, Fathy A., Kilic O. An electromagnetic model of human vital signs detection and its experimental validation. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 2018, 8, pp. 338-349. DOI: 10.1109/JETCAS.2018.2811339

14. Iashin S.A. [et al.]. Biorezonansnye efekty pri vozdeistvii elektromagnitnykh polei: fizicheskie modeli i eksperiment [Bioresonance effects under the influence of electromagnetic fields: physical models and experiment: a monograph]. Ed. A.A. Iashin; NII NMT, NITs "Matriks". Moscow-Tver-Tula: Triada, 2007, 160 p.

15. Subbotina T.I., Tsaregorodtsev I.A., Iashin A.A. Registratsiia medlenno meniaiushchikhsia sostavliaiushchikh integrativnogo elektromagnitnogo polia bioob"ekta [Registration of slowly changing components of the integrative electromagnetic field of a bioobject]. *XVIII nauchnaia sessiia, posviashchennaia Dniu radio*. Tula, 2001, 58 p.

16. Chubii A.D., Zhukov V.O. Elektromagnitnyi obraz cheloveka na osnove normy khaotichnosti sobstvennykh izlucheni v usloviakh vozdeistviia tekhnogennykh polei okruzhaiushchei sredy [Electromagnetic image of a person on the basis of the norm of randomness of own emissions under the influence of technogenic environmental fields]. *Ezhegodnik Rossiiskogo natsional'nogo komiteta po zashchite ot nepozitsioniruiushchikh izlucheni*. Moscow: ALLANA, 2006, pp. 172-198.

17. Iashin S.A. Sistema registratsii sobstvennykh nizkointensivnykh elektromagnitnykh polei organizma cheloveka [System of registration of own low-intensity electromagnetic fields of human organism]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2013, vol. 20, no. 3, pp. 157-163.

18. Chubii A.D., Zhukov V.O., Tsvetkov G.A. Bioradioinformativnyi metod otsenki effektivnosti zashchity ot tekhnogenogo elektromagnitnogo izlucheniia [Bioradioinformative method for assessing the effectiveness of protection against anthropogenic electromagnetic radiation]. *Problemy i perspektivy ratsional'nogo upravleniia ekspluatatsiei vooruzheniia: materialy IX mezhvuzovskogo. nauchno-tekhnicheskogo seminara (Permskii VI RV)*. Perm', 2002.

19. Marchuk A.V. Osnovy teorii elektromagnitnoi identifikatsii biologicheskikh ob"ektov v ergaticheskikh sistemakh: preprint [Fundamentals of Theory of Electromagnetic Identification of Biological Objects in Ergatic Systems]. Perm': Ural'skoe otdelenie Rossiiskoi akademii nauk, 1998, 95 p.

20. Chubii A.D., Zhukov V.O. Tekhnologiya likvidatsii khaosa sobstvennykh khaoticheskikh elektromagnitnykh izlucheni zhivykh organizmov (bioradioinformativnaia tekhnologiya) [Technology of liquidation of chaotic electromagnetic emissions of living organisms (bioradioinformative technology)]. *Novye informatsionnye tekhnologii v meditsine, biologii, farmakologii i ekologii. IT+M&E'*, 2013, pp. 201-203.

21. Polezhaev A.A., Borina M.Iu. Prostranstvenno-vremennye struktury v aktivnoi srede, vyzvannye diffuzionnoi neustoichivost'iu [Spatial and temporal structures in the active medium caused by diffusion instability]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Prikladnaia nelineinaiia dinamika*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 116-130. DOI: 10.18500/0869-6632-2014-22-2-116-129

22. Gryzlova O.Iu. Biorezonansnye efekty v estestvennykh i iskusstvennykh elektromagnitnykh poliakh kak faktor zhiznedeiatel'nosti

[Bioresonance effects in natural and artificial electromagnetic fields as a factor of life activity]. Abstract of Ph. D. Tula, 2005, 19 p.

23. Feder E. Fraktaly [Fractals]. Moscow: Mir, 1991, 254 p.

24. Marchuk A.V., Tsvetkov G.A. Chelovek i sreda obitaniia: eshche odna skrytaia ugroza bezopasnosti [Man and habitat: another hidden security threat]. *Problemy obespecheniia bezopasnosti v promyshlennosti, stroitel'stve i na transporte. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 2010, pp. 84-91.

25. Chubii A.D. Zakonomernosti i predely snizheniia zhiznesposobnosti i stareniiia cheloveka v usloviakh nevesomosti mnogoletnego kosmicheskogo poleta (bioradioinformativnaia tekhnologiya) [Laws and limits of the reduction of human vitality and aging in weightlessness of multi-year space flight (bioradioinformative technology)]. *Novye informatsionnye tekhnologii v meditsine, biologii, farmakologii i ekologii. IT+M&E'*, 2015, pp. 322-327.

Сведения об авторах

Алешков Андрей Андреевич (Пермь, Российская Федерация) – аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: xxg.Andrew.ru@mail.ru).

Цветков Геннадий Александрович (Пермь, Российская Федерация) – доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zvetkov71043@mail.ru).

About the authors

Andrey A. Aleshkov (Perm, Russian Federation) – Graduate Student of "Life Safety" department Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: xxg.Andrew.ru@mail.ru).

Gennady A. Tsvetkov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Science, Senior Researcher, Professor of "Life Safety" department Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: zvetkov71043@mail.ru).

Поступила: 30.06.2023. Одобрена: 20.08.2023. Принята к публикации: 01.10.2023.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по отношению к статье.

Вклад авторов. Все авторы сделали равноценный вклад в подготовку статьи.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Алешков, А.А. Метод обнаружения и распознавания биологических объектов по собственным электромагнитным излучениям / А.А. Алешков, Г.А. Цветков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 47. – С. 50–70. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.3.03

Please cite this article in English as:

Aleshkov A.A., Tsvetkov G.A. Method of detection and recognition biological objects by its own electromagnetic emissions. *Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, information technologies, control systems*, 2023, no. 47, pp. 50-70. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.3.03