

DOI: 10.12737/10865

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭНЦЕФАЛОГРАММ

Ю.В. ВОХМИНА, Д.В. ГОРБУНОВ, В.В. ЕСЬКОВ, Г.А. ШАДРИН

*Сургутский государственный университет ХМАО – Югры,  
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, Россия, 628412*

**Аннотация.** Традиционно в электроэнцефалографии используются параметры амплитудно-частотных характеристик регистрируемых биопотенциалов. В работе показывается, что они носят всё-таки хаотический характер, который имеет место и для автокорреляционных функций  $A(t)$ . Предлагаются два новых подхода в оценке параметров электроэнцефалограмм. Первый из них основан на построении матриц парных сравнений регистрируемых выборок биопотенциалов мозга у испытуемых, находящихся в разных физиологических (психических) состояниях. Второй метод базируется на расчётах параметров квазиаттракторов, которые на плоскости строятся в координатах  $x_1=U(t)$  – функция изменения биопотенциала в точке регистрации и  $x_2=dx_1/dt$  – скорость изменения  $x_1$ . Возможна и трёхкомпарментная модель квазиаттрактора в фазовом пространстве состояний, которая также обсуждается.

**Ключевые слова:** теория хаоса-самоорганизации, квазиаттракторы, электроэнцефалограмма.

## STOCHASTIC AND CHAOTIC EVALUATION OF PARAMETERS OF ENCEPHALOGRAM

Y.V. VOKHMINA, D.V. GORBUNOV, V.V. ESKOV, G.A. SHADRIN

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412*

**Abstract.** Traditionally parameters of amplitude-frequency characteristics of recorded biopotentials are used in EEG. In this paper we show that they are still chaotic, which takes place for the autocorrelation function  $A(t)$ . It is proposed the two new approaches for estimation of parameters of electroencephalograms. The first is based on the construction of the matrix of pairwise comparisons of recorded samples of brain potentials in subjects in different physiological (mental) states. The second method is based on calculating the parameters of quasi-attractors, which are built on the plane in the coordinates  $x_1=U(t)$  – a function that changes due to registration of biopotential in current point and  $x_2=dx_1/dt$  – rate of change of  $x_1$ . It is possible to construct a three-compartmental model quasi-attractor in the phase space of states, which is also discussed.

**Key words:** chaos self-organization theory, quasi-attractors, elektroentsefalo-grams.

**Введение.** Использование *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ) в практической электроэнцефалографии наталкивается на определенные трудности в связи с непрерывным изменением спектра ЭЭГ (рис. 1-А-II). Более того, другие статистические характеристики так же весьма изменчивы (речь идет о функциях распределения  $f(x)$  и о атокорреляционных функциях).

В чем сходство динамик параметров гомеостаза? Дискуссия о сложностях в описании гомеостаза усиливает актуальность этой проблемы. Мы сейчас говорим о подобии миограмм, кардиоритмов, треморограмм и электроэнцефалограмм между собой с позиций стохастики. Для иллюстрации этого утверждения мы приводим рис.1 с тремя примерами динамик (I), и АЧХ (II) и

автокорреляционных функций  $A(t)$  (III)[1-4].

Если рассматривать динамику изменения биопотенциалов мозга (в виде ЭЭГ) как некоторый непрерывный процесс генерации биопотенциалов многими нейронами, которые хаотически создают суммарную биоэлектрическую активность, то при суперпозиции мы регистрируем именно эту суммарную активность. Из-за отсутствия жёсткой синхронизации будем ее считать хаотической функцией и тогда в рамках нашего подхода расчеты параметров вектора состояния системы (ВСС), которая обеспечивает генерацию биопотенциалов мозга (БПМ), могут дать некоторую закономерность именно в рамках параметров квазиаттракторов [5-7,11].

возникновении управляемых режимов организм переходит от хаоса к некоторому неравномерному распределению, т.е. свойство перемешивания не выполняется и распределение становится неравномерным (рис. 2) [8-11]. Нечто подобное мы регистрируем и с тремором. В норме постуральный тремор (физиологический) дает нам хаотические квазиаттракторы почти сплошь заполняющие ограниченный объем  $V$  (объем квазиаттрактора). При возникновении болезни Паркинсона тремор дает нам некоторые регулярные частоты и распределение значений на фазовой плоскости становится неравномерным. Имеется сходная динамика и при работе сердца.

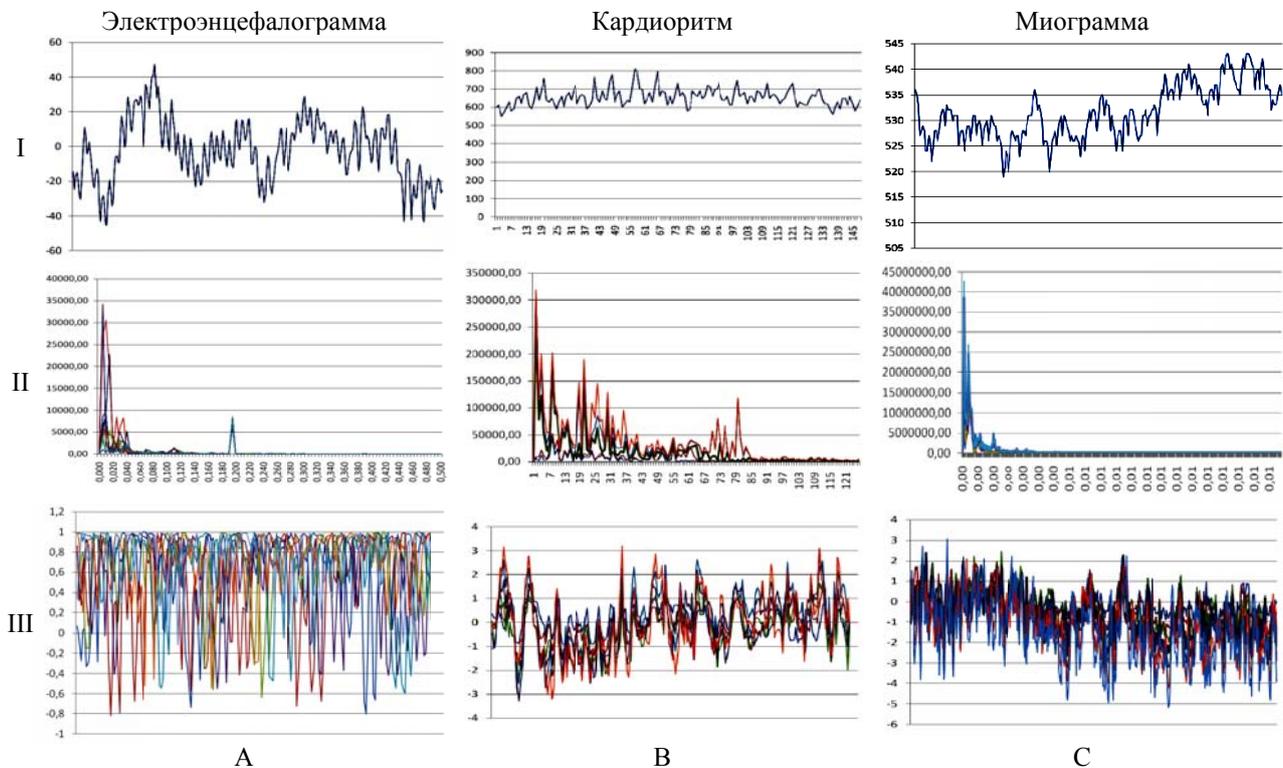


Рис. 1. Примеры Электрэнцефалограмма (I – А), кардиоинтервалограммы (I – В) и электромиограммы (I – С), а также суперпозиция их 15-ти амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) в виде II – А, II – В, II – С соответственно и суперпозиции их 15-ти автокорреляционных функций  $A(t)$  в виде III – А, III – В, III – С

В случае с ЭЭГ (рис. 1-А) для номогенеза мы имеем всё-таки чисто хаотическую динамику, которая существенно не отличается от динамики кардиоинтервалов (рис. 1-В), миограмм (рис. 1-С) и других динамических процессов в организме (биохимические параметры гомеостаза). При

Например, перед смертью в ряде случаев сердце начинает биться с весьма устойчивой частотой. Остается как бы один примитивный генератор ритмики и при эпилепсии, и при треморе в условия болезни Паркинсона, и в работе сердца перед летальным исходом. Упрощение динамики на фазовой

плоскости, т.е. переход от хаоса к доминантным частотам, очень выразительно просматривается в виде определённых фигур. При этом фактическая площадь *квазиаттракторов* изменяется и они (*квазиаттракторы*) принимают характерную форму (рис. 3) [12-15].

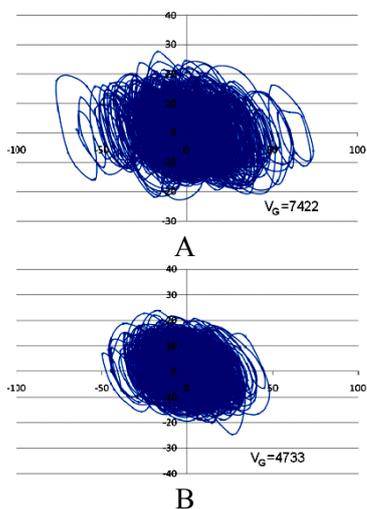


Рис. 2. Фазовые портреты движения вектора состояния  $(x=(x_1, x_2)^T)$  ЭЭГ условно здорового испытуемого в период: А – релаксации (спокойное состояние) площадь квазиаттрактора  $S_1=7422$ ; В – при фотостимуляции  $S_2=4733$ , где по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов  $x_1$  (в мкВ), а по оси ординат – скорости изменения этих же биопотенциалов ( $x_2=dx/dt$ ) в отведение Т6-Ref

В терминах *квазиаттракторов* нормогенез соответствует равномерному (хаотическому) распределению параметров ВСС в ФПС. При возникновении патологии распределение ВСС становится неравномерным, возникают доминанты патологий, что соответствует неравномерному распределению ВСС в ФПС. На рис. 3 представлен фазовый портрет человека с очаговой эпилепсией без внешних воздействий (стимулов, т.е. спокойное состояние) и фазовый портрет этого же пациента в условиях фотостимуляции (навязывания внешнего ритма). Легко видеть, что на рис. 3-А уже появляется неравномерность распределения в фазовом портрете, которая резко усиливается при фотостимуляции. Количественно это проявляется в изменении площади *квазиаттрактора*. Например на рис. 3-А и Рис. 3-В при внешнем возмущении у нас наблюдается увеличение площади *квази-*

*аттрактора* от  $S_1=5587055$  до  $S_2=9256934$ . Такая динамика резко отличается от рис. 2 для нормогагенеза (рис.2), где  $S_2 < S_1$  [11-12].

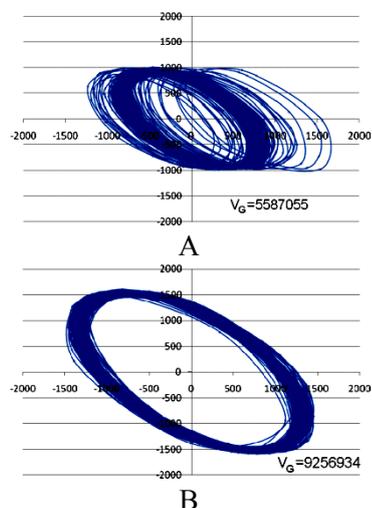


Рис. 3. Фазовые портреты движения вектора состояния  $(x=(x_1, x_2)^T)$  ЭЭГ испытуемого с эпилепсией в период: А - релаксации (спокойного состояния)  $S_1=5587055$ ; В – при фотостимуляции  $S_2=9256934$ , где по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов  $x_1$  (в мкВ), а по оси ординат – скорости изменения этих же биопотенциалов ( $x_2=dx/dt$ ) в отведение Т4-Т6

Анализ матриц парного сравнения выборок ЭЭГ позволяет сделать вывод, что у человека больного эпилепсией и без фотостимуляции уже имеется большое количество совпадений ( $k=103$ ), а при фотостимуляции число совпадений несколько увеличивается ( $k=104$ ). Это связано с возникновением в головном мозге патологических разрядов, они проявляются как временные нарушения мыслительных, вегетативных, чувствительных и двигательных функций. У здорового же человека число совпадений в период релаксации  $k=33$ , а в период фотостимуляции  $k=37$ , т. е. тоже увеличивается, но на существенную величину (на 12%)[14-18].

**Заключение.** Как видно из работы, АЧХ носит всё-таки хаотический характер, который имеет место и для автокорреляционных функций  $A(t)$ . На основе анализа параметров *квазиаттракторов*  $V_G$  можно сделать вывод, что у здорового человека при фотостимуляции уменьшаются эти параметры, вследствие чего и скорость ее изменения будет отрицательной, а у человека

большого эпилепсией  $V_G$  наоборот увеличивается. На основе метода построения матриц парных сравнений регистрируемых выборок биоэлектрических потенциалов мозга у испытуемых, находящихся в разных физиологических (психических) состояниях, видно, что у человека большого эпилепсией уже изначально имеется большое количество «совпадений» пар выборок ЭЭГ в период релаксации  $k=103$ , а в период фотостимуляции оно не значительно возрастает до  $k=104$ . Такая же динамика наблюдается и у здорового человека а количество совпадений пар в период релаксации  $k=33$ , а в период фотостимуляции  $k=37$ . Это свидетельствует о том, что у человека большого эпилепсией высокий уровень генерализации, вследствие чего мы наблюдаем большое количество совпадений пар и увеличения  $V_G$  КА. В таких цифрах можно оценивать степень генерализации ЭЭГ, что мы и предлагаем делать в практической неврологии.

#### Литература

1. Гавриленко Т. В., Еськов В. М., Хадарцев А. А., Химикова О. И., Соколова А. А. Новые методы для геронтологии в прогнозах долгожительства коренного населения Югры // *Успехи геронтологии.*– 2014.– Т. 27, № 1.– С. 30–36.
2. Ведясова О.А., Еськов В. М., Филатова О. Е. Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих монография; Российская акад. наук, Науч. совет по проблемам биологической физики.– Самара, 2005.
3. Ведясова О.А., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Зуевская Т.В., Попов Ю.М. Соотношение между детерминистскими и хаотическими подходами в моделировании синергизма и устойчивости работы дыхательного центра млекопитающих // *Вестник новых медицинских технологий.*– 2005.– Т. 12, № 2.– С. 23–24.
4. Еськов В.М., Майстренко В.И., Майстренко Е.В., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Исследование корреляции показателей функциональной асимметрии полушарий головного мозга с результатами учебной деятельности учащихся // *Вестник новых медицинских технологий.*– 2007.– Т. 14, № 3.– С. 205–207.
5. Еськов В.М., Нанченко Е.А., Козлова В.В., Климов О.В., Майстренко Е.В. Параметры квазиаттракторов поведения вектора состояния организма пловцов // *Вестник новых медицинских технологий.*– 2009.– Т. 16, № 4.– С. 24–26.
6. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Майстренко Е.В. Диагностика физиологических функций женщин-пловцов югры методом расчета матриц межкластерных расстояний // *Системный анализ и управление в биомедицинских системах.*– 2010.– Т. 9, № 3.– С. 500–504.
7. Еськов В.М., Еськов В.В., Козлова В.В., Филатов М.А. Способ корректировки лечебного или физкультурно-спортивного воздействия на организм человека в фазовом пространстве состояний с помощью матриц расстояний // патент на изобретение RUS 2432895 от 09.03.2010 г.
8. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Способ корректировки лечебного или лечебно-оздоровительного воздействия на пациента // патент на изобретение RUS 2433788 от 01.02.2010 г.
9. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцев А.А., Хадарцева К.А. Фрактальная динамика поведения человекомерных систем // *Вестник новых медицинских технологий.*– 2011.– Т. 18, № 3.– С. 330–331.
10. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование // *Вестник новых медицинских технологий.*– 2011.– Т. 18, № 3.– С. 331–332.
11. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия.*– 2014.– № 5.– С. 41–46.
12. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вахмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон.*– 2015.– № 2.
13. Козупица Г.С., Даянова Д.Д., Бурькин Ю.Г., Берестин Д.К. Компартмент-

но-кластерное моделирование неопределённости в рамках детерминизма // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2014.– № 2.– С. 68–80.

14. Нифонтова О.Л., Бурькин Ю.Г., Майстренко Е.В., Хисамова А.В. Системный анализ в сравнительной оценке антропометрических показателей детей школьного возраста Тюменского севера // Информатика и системы управления.– 2010.– № 2.– С. 167–170.

15. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // *Neurophysiology*.– 1993.– Т. 25, № 6.– P. 420.

16. Eskov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // *Measurement Techniques*.– 2006.– Т. 49, № 1.– P. 59–65.

17. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // *Measurement Techniques*.– 2011.– Т. 53, № 12.– P. 1404–1410.

18. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // *Measurement Techniques*.– 2011.– Т. 54, № 8.– P. 832–837.

### References

1. Gavrilenko TV, Es'kov VM, Khadartsev AA, Khimikova OI, Sokolova AA. Novye metody dlya gerontologii v prognozakh dolgozhitel'stva korenного naseleniya Yugry. *Uspekhi gerontologii*. 2014;27(1):30-6. Russian.

2. Vedyasova OA, Es'kov VM, Filatova OE. Sistemnyy kompartmentno-klasternyy analiz mekhanizmov ustoychivosti dykhatel'noy ritmiki mlekopitayushchikh monografiya; Rossiyskaya akad. nauk, Nauch. sovet po problemam biologicheskoy fiziki. Samara; 2005. Russian.

3. Vedyasova OA, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Zuevskaya TV, Popov YuM. Soot-

noshenie mezhdru deterministskimi i khaoticheskimi podkhodami v modelirovanii sinergizma i ustoychivosti raboty dykhatel'nogo tsentra mlekopitayushchikh. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2005;12(2):23-4. Russian.

4. Es'kov VM, Maystrenko VI, Maystrenko EV, Filatov MA, Filatova DYu. Issledovanie korrelyatsii pokazateley funktsional'noy asimmetrii polushariy golovного mozga s rezul'tatami uchebnoy deyatelnosti uchashchikhsya. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2007;14(3):205-7.

5. Es'kov VM, Nanchenko EA, Kozlova VV, Klimov OV, Maystrenko EV. Parametry kvaziatraktorov povedeniya vektora sostoyaniya organizma plovtsov. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2009;16(4):24-6. Russian.

6. Es'kov VM, Braginskii MYa, Kozlova VV, Maystrenko EV. Diagnostika fiziologicheskikh funktsiy zhenshin-plovtsov yugry metodom rascheta matrits mezhklasternykh rasstoyaniy. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2010;9(3):500-4. Russian.

7. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA, inventors; Sposob korrektsirovki lechebnogo ili fizkul'turno-sportivного vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu matrits rasstoyaniy. Russian Federation patent RU 2432895. 2010. Russian.

8. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, inventors; Sposob korrektsirovki lechebnogo ili lechebno-ozdorovitel'nogo vozdeystviya na patsienta. Russian Federation patent RU 2433788. 2010. Russian.

9. Es'kov VM, Filatova OE, Khadartsev AA, Khadartseva KA. Fraktal'naya dinamika povedeniya chelovekomernykh sistem. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2011;18(3):330-1. Russian.

10. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyе svoystva biosistem i ikh modelirovanie. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2011;18(3):331-2. Russian.

11. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem.

Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2014;5:41-6. Russian.

12. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vakhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: stacionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 3. Fiz. Astron. 2015;2. Russian.

13. Kozupitsa GS, Dayanova DD, Burykin YuG, Berestin DK. Kompartimentno-klasternoe modelirovanie neopredelennostey v ramkakh determinizma. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;2:68-80. Russian.

14. Nifontova OL, Burykin YuG, Mays-trenko EV, Khisamova AV. Sistemnyy analiz v sravnitel'noy otsenke antropometricheskikh pokazateley detey shkol'nogo vozrasta Tyumenskogo severa. Informatika i sistemy upravleniya. 2010;2:167-70. Russian.

15. Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. Neurophysiology. 1993;25(6):420.

16. Eskov VM, Kulaev SV, Popov YuM, Filatova OE. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems. Measurement Techniques. 2006;49(1):59-65.

17. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. Measurement Techniques. 2011;53(12):1404-10.

18. Eskov VM, Eskov VV, Braginskii MYa, Pashnin AS. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. Measurement Techniques. 2011;54(8):832-7.