

ИМЕЕТСЯ ЛИ ХАОС В РАБОТЕ СЕРДЦА?

В.А. ГАЛКИН¹, В.В. ЕСЬКОВ², Т.В. ГАВРИЛЕНКО², Ю.В. БАШКАТОВА¹

¹ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук». Обособленное подразделение «ФНЦ НИИСИ РАН» в г. Сургуте, ул. Базовая, 34, г. Сургут, Россия, 628400

²БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, Россия, 628400

Аннотация. Около 150 лет изучение ритмов сердца происходит в рамках традиционных статистических методов. Однако, еще в 1947 году Н.А. Бернштейн в биомеханике заговорил об отсутствии повторений в организации движений. В 1948 году W. Weaver вообще отказался изучать биосистемы в рамках стохастики. За последние 20 лет было доказано отсутствие статистической устойчивости в параметрах тремора и теппинга. Возникает закономерный вопрос о статистической устойчивости кардиоинтервалов. Иными словами мы ставим под сомнение дальнейшее использование стохастики в изучении работы сердца. Для проверки этого предположения мы у 15-ти человек (за интервал 5 минут) многократно (по 225 раз) регистрировали выборки кардиоинтервалов. Для каждой серии из 15 таких выборок строились матрицы парных сравнений, в которых находились числа k пар, имеющих общую генеральную совокупность. В итоге было построено 225 таких матриц, в которых числа $k \leq 20\%$ от всех разных 105-ти пар (для каждой матрицы). Все это доказывает эффект Еськова-Зинченко, т.е. отсутствие статистической устойчивости выборок кардиоинтервалов и отсутствие динамического хаоса в работе сердца.

Ключевые слова: хаос, кардиоинтервалы, статистическая устойчивость, эффект Еськова-Зинченко.

IS THE CHAOS IN HEART BEHAVIOR?

V.A. GALKIN¹, V.V. ESKOV², T.V. GAVRILENKO², YU.V. BASHKATOVA¹

²Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, Russia, 628400

¹Federal research center for scientific research institute of system research of the Russian Academy of Sciences, Special division in Surgut, Bazovaya Str. 34, Surgut, Russia, 628400, e-mail: firing.squad@mail.ru

Abstract. More than 150 years the heart rate was investigated according to traditional stochastic approaches. But in 1947 years N.A. Bernstein in biomechanics presented the hypothesis about «repetition without repetition» for any movements. In 1948 years W. Weaver proposed the absent of possibility for biosystems investigation according to stochastics theory. Last 20 years we proved the stochastic instability of any samples of tremorogram or teppingram. So we registrated for 15 woman (during 5 minutes) cardiointervals (225 samples for every woman). For every series with 15 such samples we calculated one matrix of pare comparison such samples. Every such matrix presents the number k of pare with Wilcoxon criteria $p_{ij} \geq 0,05$, the pare have common global general distribution. So we calculated 225 such matrixes which demonstrated $k \leq 20\%$ from all 105 pairs for every such matrix. It was proved the Eskov-Zinchenko effect or absent of stochastic stability of any sample of cardiointerval. We present the absent of dynamical chaos for cardiointervals.

Key words: chaos, cardiointervals, statistical stability, Eskov-Zinchenko effect.

Введение. Существует много публикаций, в которых высказывается гипотеза о хаотической работе нейросетей мозга (и других параметров организма человека) [31, 32]. Однако еще в 1947 году Н.А. Бернштейн высказал гипотезу о «повторении без повторений» в организации любых движений [1]. За последние 20 лет в биомеханике эта

гипотеза получила подтверждение в виде эффекта Еськова-Зинченко (ЭЭЗ). В этом ЭЭЗ доказано отсутствие статистической устойчивости треморограмм и теппинграмм [5-10, 12-18].

Возникает закономерный вопрос о глобальности этого ЭЭЗ или он имеет место только в биомеханике? Подчеркнем, что ряд авторов высказывались о наличии

непериодической динамики и в работе сердца [5-10, 12-18]. Однако детально ритмику сердца никто не исследовал на предмет ее статистической неустойчивости [22-30, 34]. Возникает закономерная проблема об отсутствии периодичности в кардиоритме. Одновременно мы подошли и к принципиальному вопросу о возможности динамического хаоса в параметрах кардиоинтервалов (КИ) [2-4, 11, 19].

Ответы на эти вопросы мы представляем в настоящем сообщении. При этом основное внимание мы уделяем доказательству статистического хаоса в КИ и отсутствию динамического хаоса Лоренца в организации кардиоритмов [5-10, 12-18].

1. Статистическая неустойчивость в биосистемах и динамический хаос.

Прежде всего отметим ряд существенных моментов в определении хаоса вообще и динамического хаоса Лоренца в частности. Напомним, что под хаосом системы мы понимаем ее поведение, когда задание начальных параметров вектора состояния системы $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС) не определяет дальнейшую траекторию $x(t)$ в

ФПС и конечное состояние этого вектора $x(t_k)$. Однако, при этом могут возникать странные аттракторы, которые демонстрируют равномерное распределение (оно предсказуемо).

В биомеханике (при доказательстве гипотезы Н.А. Бернштейна и ЭЕЗ) мы наблюдаем отсутствие произвольного повторения выборок треморограмм (ТМГ) или теппинграмм (ТПГ) при многократных повторных регистрациях одних и тех же измерений ТМГ и ТПГ (у одного и того же испытуемого в спокойном состоянии). Эти неповторения легко наблюдать, если взять 15 подряд полученных ТМГ (у одного испытуемого) и построить матрицу парных сравнений выборок [5-10, 12-18].

Для примера мы представляем типичную матрицу парных сравнений выборок ТМГ одного испытуемого, где число k пар, имеющих одну, общую генеральную совокупность весьма мало. В табл. 1 имеем $k_I=4$, для доля стохастичности ничтожна мала (менее 3% от всех 105-ти разных пар сравнения). Это доказывает, что выборки ТМГ невозможно произвольно повторить (статистически). Наблюдается статистический хаос выборок ТМГ [22-30, 34].

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок треморограмм (ТМГ) одного и того же человека (без нагрузки, число повторов регистрации ТМГ $n=15$), использовался критерий Вилкоксона (критерий различий $p<0,05$, число совпадений $k_I=4$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,07	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
9	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Подчеркнем, что такая неустойчивость регистрируется не только у самих выборок ТМГ, но и для их спектральных плотностей сигнала (СПС), автокорреляции (АК) и

других статистических характеристик [2-4, 11, 19, 22-30]. Для примера в табл. 2 мы представляем матрицу парных сравнений СПС для этого же испытуемого. Число k_2

здесь выросло, но в любом случае оно не достигает 95% как это требует стохастика. Все выборки ТМГ, СПС, АК статистически неустойчивы, их невозможно два раза

подряд повторить у одного и того же испытуемого. Но это не динамический хаос Лоренца [12-18, 29, 34].

Таблица 2

Матрица парного сравнения 15-ти СПС треморограмм одного испытуемого при повторных экспериментах ($k_2=25$), по критерию Вилкоксона (для непараметрического распределения)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,95	0,01	0,00	0,13	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,68	0,00	0,58
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,95	0,00		0,01	0,00	0,15	0,56	0,00	0,00	0,01	0,00	0,48	0,38	0,00	0,60
4	0,01	0,00	0,01		0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,11	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,13	0,00	0,15	0,00	0,00		0,17	0,00	0,00	0,02	0,00	0,60	0,13	0,00	0,29
7	0,77	0,00	0,56	0,07	0,00	0,17		0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,66	0,00	0,75
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00		0,02	0,06	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,02	0,00	0,48	0,00	0,00	0,60	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00		0,12	0,00	0,17
13	0,68	0,00	0,38	0,01	0,00	0,13	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12		0,00	0,54
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,58	0,00	0,60	0,01	0,00	0,29	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,54	0,00	

Напомним, что для хаоса Лоренца имеются ряд характерных критериев. Например, в аттракторах Лоренца старшие экспоненты Ляпунова должны быть положительными (соседние траектории расходятся). У нас же это нет. Фазовые портреты ТМГ или ТПГ демонстрируют

пересекающиеся кривые. Для примера мы представляем на рис. 1 два фазовых портрета: для ТМГ (рис. 1-А) и для ТПГ (рис. 1-В). Здесь фазовые траектории непрерывно и хаотически пересекаются [22-30].

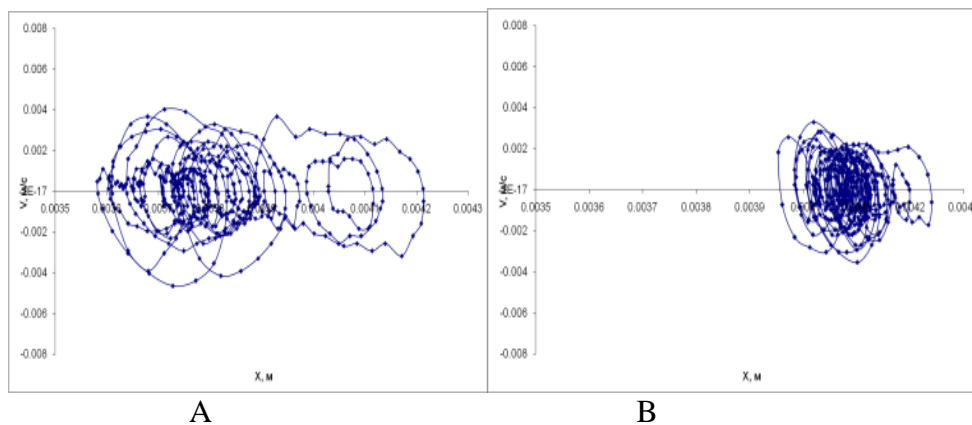


Рис. 1. Фазовые траектории и их КА для одного и того же испытуемого: А – в период релаксации; В – в период нагрузки $F_2=3Н$

Для динамического хаоса характерно также стремление автокорреляционных функций к нулю. Для нашего статистического хаоса, доказывающего ЭЭЗ, этого не наблюдается. От выборки к выборке АК непрерывно и хаотически изменяются, но нет стремления к нулю

автокорреляционных функций. Более того, для динамического хаоса Лоренца характерно равномерное распределение выборок $x_i(t)$ внутри аттракторов Лоренца. Для статистического хаоса биосистем квазиаттракторы Еськова (псевдоаттракторы – ПА) не

демонстрируют свойства перемешивания [12-18, 21, 23, 29, 34].

В целом, статистический хаос биосистем (ЭЗ) характеризуется статистической неустойчивостью выборок $x_i(t)$, их СПС и АК [2-4, 11, 19, 22-30]. Это особый хаос, когда любая выборка ТМГ или ТПГ (у одного и того же испытуемого) статистически не может быть повторена. В этом ЭЗ мы не наблюдаем динамический хаос Лоренца и для его описания необходимо строить новый математический аппарат, например, в виде теории хаоса-самоорганизации (ТХС) [12-18, 21, 23, 29, 34].

2. Неустойчивость выборок кардиоинтервалов.

Подчеркнем еще раз, что сейчас имеется уже ряд работ, где пытаются доказать наличие хаоса в кардиоритмах [31, 32]. Фактически, для этого достаточно доказать отсутствие периодической ритмики сердца, а еще лучше отсутствие статистической устойчивости КИ (т.е. ЭЗ для работы сердца). Очевидно, что доказательство ЭЗ для работы сердца сразу изменяет наш подход в изучении всего организма человека, т.к. до настоящего времени кардиоритм считали статистически устойчивым.

Для опровержения этого убеждения мы обследовали 15 здоровых человек (женщины, средний возраст $\langle T \rangle = 28$ лет) в покое (регистрация КИ производилась сидя, в спокойном состоянии) с помощью запатентованного прибора «Элокс-01». У каждого испытуемого регистрировали по 15 серий измерений. При этом в каждой серии было по 15 выборок КИ и каждая выборка содержала не менее 300 КИ. Длительность регистрации такой выборки не менее 5 минут. В итоге мы строили для каждого испытуемого по 15 матриц парных сравнений выборок КИ [5-10, 12-18].

В каждой такой матрице размером 15×15 мы находили критерий Вилкоксона $p_{i,j}$ (для каждой i -й и j -й выборки КИ). В итоге находили число k пар выборок КИ, которые имели $p_{i,j} \geq 0,05$. В этом случае эти две выборки могли иметь одну, общую генеральную совокупность, т.е. они статистически совпадали (существенно не различались). Для примера мы представляем характерную матрицу парных сравнений выборок КИ в виде табл. 3. Здесь $k_3=12$ и это очень небольшое значение, т.к. в статистике обычно требуют 95% и более совпадений [12-18, 21, 23, 29, 34].

Таблица 3

Матрица парного сравнения выборок кардиоинтервалов (КИ) одного и того же человека (без нагрузки, число повторов $n=15$), использовался критерий Вилкоксона (критерий различий $p < 0,05$, число совпадений $k_3=12$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1			0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,07	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,94	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,60	0,30	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01		0,00	0,03	0,00	0,00	0,17	0,02	0,06
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00		0,40	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,03	0,40		0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,17	0,01	0,25	0,00	0,00		0,00	0,04
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,83
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,83	

Существенно, что такая статистическая неустойчивость выборок наблюдается во всех наших 225-ти рассчитанных матрицах парных сравнений выборок для всех 15-ти

испытуемых. Сами же числа $k_{l,m}$, где l – номер испытуемого, а m – номер серии испытаний (например матрицы для l -го испытуемого) группируются для каждого

испытуемого вокруг его среднего значения $\langle k_l \rangle$. Обычно (во всех наших испытаниях) эти $\langle k_l \rangle \leq 20\%$ от всех 105 пар сравнений в каждой такой матрице.

Для примера мы представляем характерную таблицу 4, в которой средние значения $\langle k_l \rangle$ для данного испытуемого весьма невелики. Все такие значения $k_{l,m}$, которые менее 20%, доказывают отсутствие статистической устойчивости выборок КИ, т.е. доказывают ЭЭЗ. Это означает, что стохастика не применима в оценке ритмики

сердца и невозможно говорить и о периодичности в работе сердца, ритм сердца статистически неустойчив. Но это не динамический хаос Лоренца. Более того, неустойчивы и СПС для выборок КИ и их АК. Все непрерывно и хаотически изменяется. ЭЭЗ завершает дальнейшее применение стохастики в изучении работы сердца [22-30]. Требуются новые модели и новая теория для описания работы сердца и в биомеханике [22-30, 34].

Таблица 4

Число пар совпадений выборок (k_3) для всех 15-ти матриц парного сравнения параметров КИ у группы из 15-ти испытуемых при повторных экспериментах (в спокойном состоянии)

№ п/п	Значения k_l у 15-ти испытуемых														
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}
1	15	12	9	6	14	12	14	11	17	15	10	12	26	14	13
2	9	8	12	11	6	22	13	14	18	9	13	7	20	9	13
3	10	4	13	14	17	19	16	13	11	10	11	9	12	21	14
4	5	6	11	9	17	10	11	16	15	22	11	10	15	10	12
5	19	13	13	12	16	11	10	14	12	20	15	8	15	10	12
6	10	6	14	13	11	11	12	13	10	12	15	15	18	12	12
7	10	9	9	13	21	29	16	14	11	20	14	14	15	12	14
8	11	31	10	15	11	13	13	14	13	19	12	6	16	10	18
9	16	7	13	12	18	9	14	11	14	11	7	17	13	14	15
10	8	4	9	15	25	12	12	13	14	10	11	17	14	12	17
11	16	6	10	12	12	17	12	17	12	7	13	16	19	20	19
12	20	6	12	14	14	8	13	16	14	12	10	11	15	13	14
13	10	4	14	15	18	12	16	14	13	15	11	38	14	16	13
14	6	9	12	13	11	13	15	17	9	14	13	11	17	14	16
15	17	4	10	10	20	14	14	11	16	18	15	18	15	12	15
$\langle k_3 \rangle$	12	9	11	12	15	14	13	14	13	14	12	14	16	13	15
σ_{\pm}	4.7	6.8	1.8	2.5	4.8	5.6	1.8	2.0	2.5	4.6	2.3	7.7	3.5	3.5	2.2

Подчеркнем, что фазовые траектории поведения вектора состояния КИ $x=(x_1, x_2)^T$, где x_1 – величина КИ, мсек., а x_2 – скорость изменения $x_1(t)$, демонстрируют непрерывные пересечения (см. рис. 2). При этом отсутствует и возможность равномерного распределения, что характерно для аттракторов Лоренца [21, 23, 29, 34]. Каждая выборка из всех 225-ти выборок для каждого испытуемого (всего было построено 3775 фазовых портретов для этой группы из 15-ти человек) демонстрирует свою функцию распределения. При этом отсутствует инвариантность мер, что характерно для аттрактора Лоренца [12-18, 22-29].

Нет свойства перемешивания для вектора $x(t)$ [5-10, 22-30], фазовые траектории хаотически пересекаются. При этом и автокорреляционные функции

выборок КИ не стремятся к нулю. Все эти признаки динамического хаоса в поведении КИ отсутствуют. Мы не можем получить странный аттрактор, т.к. наблюдаем непрерывный калейдоскоп статистических функций распределения [22-30]. Для примера мы представляем два фазовых портрета КИ, полученных от одного испытуемого в двух разных физиологических состояниях (рис. 2).

1. Расчет старших показателей Ляпунова для КИ.

В предыдущем параграфе мы сосредоточили внимание на фазовых портретах КИ и основных критериях, которые характеризуют динамический хаос. В теории хаоса обычно используют три основных критерия: свойство перемешивания (инвариантность мер), стремление к нулю автокорреляционных

функций $A(t)$ и расчет старших показателей Ляпунова (СПЛ).

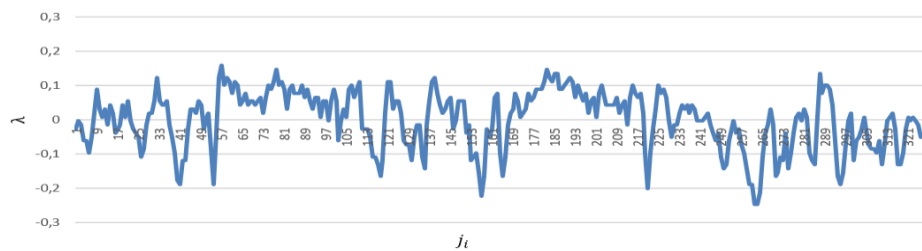


Рис. 2. Результаты расчета старшего показателя Ляпунова для интервалов временных рядов кардиосигналов (5-минутная регистрация кардиосигнала испытуемого в состоянии нормогенеза), где λ – значение старшего показателя Ляпунова после нормализации (представлен расчет одного интервала за 5 минут регистрации).

Последний критерий сейчас довольно часто используют при оценке динамического хаоса. В настоящее время существует два основных способа расчета СПЛ. Первый способ основан на оценке скорости разбегания двух соседних фазовых траекторий исследуемого сигнала. В этом случае используется алгоритм *Benettin G., Galgani L., et al. (et all)* [19]. В этом случае известно динамическое уравнение и соседние траектории можно точно рассчитать.

Из решения систем дифференциальных уравнений мы можем рассчитать расстояние между двумя точками, начальные значения которых расположены в некоторой окрестности радиуса ε . Даже, за время T траектории должны разойтись в n -мерный эллипсоид по главным полуосям и в момент некоторого времени t эти радиусы будут определяться величиной $\varepsilon e^{\lambda_i t}$, $i=1, 2, \dots, n$.

Показатели Ляпунова λ_i могут быть в этом случае рассчитаны точно на основе этих дифференциальных уравнений. Однако для биосистем невозможно определить уравнения, которые бы описывали поведение вектора состояния биосистемы $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний. Все таблицы (табл. 1, табл. 2, табл. 3 и тысячи подобных [5-10, 12-18]) доказывают отсутствие статистической устойчивости выборок.

В итоге, это означает, что мы не можем составить уравнение, которое бы обладало прогностическими свойствами. Нет

уравнений в детерминистской и стохастической науке (ДСН), которые бы могли описывать будущее состояние биосистемы (СТТ). Тем более, любая статистическая функция имеет разовый (уникальный) характер. Ее очень сложно повторить в будущем. Напомним, что в аттракторах Лоренца мы имеем свойство перемешивания (однородное распределение). Поэтому динамический хаос статистически прогнозируем (меры инварианты).

Все это совершенно не применимо к биосистемам – СТТ. Поэтому мы используем алгоритм *Wolf A., Swit J.B., et all* [36] для дискретных значений параметров биосистем. В этом случае СПЛ рассчитывался по формуле:

$$\lambda_m = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \ln \delta_m^{(i)} \quad (1)$$

Для реализации этого алгоритма мы находили расстояние $r_i = \|y(t_i) - z_i(t_i)\|$. Здесь эволюционирующая первая точка данных $y(t_i)$ сохраняется, а новая ближайшая точка $z_i(t_i)$ ищется из условия, что расстояние r_i остается меньше некоторого ε . В итоге старший показатель Ляпунова для аттрактора рассчитывается по формуле:

$$\lambda_l = \frac{1}{m \Delta t} \sum_{k=0}^{L-1} \ln \frac{r_k}{r_k} \quad (2)$$

В результате расчета по формулам (1) и (2) мы получили старшие показатели Ляпунова λ_i (СПЛ) для всех 225-ти выборок для каждого испытуемого из группы в 15 человек. Характерный пример одного такого расчета (из нескольких тысяч) представлен на рис. 2. Из этого рисунка очевидно, что СПЛ могут

принимать как отрицательные значения, так и положительные. На разных интервалах времени Δt мы имеем разные значения СПЛ. Это доказывает отсутствие динамического хаоса, т.к. фазовые траектории то расходятся, то пересекаются. Это же доказывает и рис. 2 (см. выше).

Выводы. Любые параметры нервно-мышечной системы (ТМГ и ТПГ) демонстрируют статистический хаос. Эту же динамику показывает и поведение сердечно-сосудистой системы (ССС) в виде выборок КИ. Несколько тысяч рассчитанных матриц (см. табл. 1, табл. 2, табл. 3) доказывают отсутствие статистической устойчивости выборок КИ. В табл. 4 мы показали, что доля стохастики обычно менее 15% ($k_3 < 15\%$). Детальное изучение фазовых портретов ТМГ и КИ показывает отсутствие равномерного распределения выборок. Более того, фазовые траектории то пересекаются, то расходятся. Это не характерно для динамического хаоса. Более того расчет СПЛ для всех выборок КИ показали, что эти λ_i СПЛ могут принимать положительные и отрицательные значения на коротком (5 минут) интервале регистрации КИ. Динамического хаоса нет у выборок КИ.

Литература

1. Бернштейн Н.А. О построении движений / Проф. Н. А. Бернштейн чл.-кор. Акад. мед. наук СССР. – М.: Медгиз, 1947. – 255 с
2. Газя Г.В., Белощенко Д.В. Результаты скринингового экспресс-мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы работников нефтегазового комплекса подверженных воздействию электромагнитных полей // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. №5. Публикация 2-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2019-5/2-3.pdf>. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16536.
3. Газя Г.В., Болтаев А.В., Гимадиев Б.Р., Мороз О.А. Промышленные электромагнитные поля как факторы возрастных изменений // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. – № 2. – С. 24-31.
4. Газя Г.В., Еськов В.В., Стратан Н.Ф., Салимова Ю.В., Игнатенко Ю.С. Использование искусственных нейросетей в промышленной экологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 111-114. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-2-111-114
5. Галкин В.А., Еськов В.В., Пятин В.Ф., Кирасирова Л.А., Кульчицкий В.А. Существует ли стохастическая устойчивость выборок в нейронауках? // Новости медико-биологических наук. – 2020. – Т. 20, № 3. – С.126-132.
6. Денисова Л.А., Белощенко Д.В., Башкатова Ю.В., Горбунов Д.В. Особенности регуляции двигательных функций у женщин // Клиническая медицина и фармакология. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 11-16.
7. Еськов В.В. Математическое моделирование гомеостаза и эволюции *complexity*: монография. Тула: Издательство ТулГУ, 2016. – 307 с.
8. Еськов В.В., Башкатова Ю.В., Шакирова Л.С., Веденева Т.С., Мордвинцева А.Ю. Проблема стандартов в медицине и физиологии // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2020. – Т. 29, № 3. – С. 211-216.
9. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Филатова Д.Ю. Башкатова Ю.В. Хаос параметров гомеостаза сердечно-сосудистой системы человека / Самара: Изд-во ООО «Порто-Принт», 2018. – 312 с.
10. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Шакирова Л.С., Мельникова Е.Г. Роль хаоса в регуляции физиологических функций организма / Под ред. А.А. Хадарцева. Самара: ООО «Порто-принт», 2020. – 248 с.
11. Еськов В.М., Газя Г.В., Соколова А.А., Васильева А.Ю. Анализ и синтез параметров вектора состояния вегетативной нервной системы коренного и пришлого населения Югры // Вестник новых медицинских

- технологий. – 2012. – Т. 19, № 4. – С. 18-21.
12. Еськов В.М., Галкин В.А., Пятин В.Ф., Филатов М.А. Организация движений: стохастика или хаос? / Под. ред. член-корр. РАН, д.биол.н., профессора Г.С. Розенберга. Самара: Издательство ООО «Порто-принт», 2020. – 144 с.
 13. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Complexity: хаос гомеостатических систем / Под ред. Г.С. Розенберга. Самара: Изд-во ООО «Порто-принт», 2017. – 388 с.
 14. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Конец определенности: хаос гомеостатических систем / Под ред. Хадарцева А.А., Розенберга Г.С. Тула: изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение, 2017. – 596 с.
 15. Козлова В.В., Галкин В.А., Филатов М.А., Еськов В.М. Моделирование нейросетей мозга с позиций гипотезы W. Weaver // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2021. – № 1. – С. 59-68. DOI: 10.12737/2306-174X-2021-52-59
 16. Пятин В. Ф., Еськов В. В., Филатова О. Е., Башкатова Ю. В. Новые представления о гомеостазе и эволюции гомеостаза // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2019. – Т. 28, № 1. – С. 21-27.
 17. Пятин В.Ф., Еськов В.В., Миллер А.В., Ермак О.А. Стохастика и хаос в нейросетях мозга // Клиническая медицина и фармакология. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 14-19.
 18. Филатова О.Е., Башкатова Ю.В., Мельникова Е.Г., Чемпалова Л.С. Параметры кардиоинтервалов женщин Севера РФ при дозированных нагрузках // Клиническая медицина и фармакология. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 6-10.
 19. Филатова О.Е., Мезенцева Л.В., Газя Г.В., Соколова А.А. Оценка биоэлектрической активности сердца у представителей коренного населения ханты методами теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. – № 4. –С. 22-28. DOI: 10.12737/article_5a1c029cbef6d9.89882621
 20. Benettin G., Galgani L., et al. Lyapunov characteristic exponents for smooth dynamical systems and for Hamiltonian systems: a method for computing all of them // Meccanica. – 1980. – Vol. 15. – Pp. 9-30.
 21. Burykin Y.G. A Video Tracking System for the Registration of Upper Extremity Motions // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(3). – Pp. 23-32. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-3
 22. Eskov V.M. Gudkov A.B., Filatov M.A. Eskov V.V. Principles of homeostatic regulation of functions in human ecology // Human Ecology. – 2019. – Vol. 10. – Pp. 41-49. DOI:10.33396/1728-0869-2019-10-41-49
 23. Eskov V.M., Pyatin V.F., Bashkatova Y.V. Medical and Biological Cybernetics: Perspectives of Development // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(1). – Pp. 58-67. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8
 24. Eskov V.M., Zinchenko Y.P., Filatov M.A., Piyashenko L.K. Glansdorff-Prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress // Human Ecology. – 2017. – Vol. 5. – Pp. 27-32. DOI:10.33396/1728-0869-2017-5-27-32
 25. Filatov M.A., Piyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones // Human Ecology. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 11-16. DOI:10.33396/1728-0869-2019-7-11-16
 26. Filatov M.A., Piyashenko L.K., Makeeva S.V. Psychophysiological parameters of students before and after translatititude travels // Human Ecology. – 2019. – Vol. 4. – Pp. 18-24. DOI:10.33396/1728-0869-2019-4-18-24
 27. Filatova D.Yu., Bashkatova Yu.V., Filatov M.A., Piyashenko L.K. Parameter evaluation of cardiovascular system in schoolchildren under the conditions of latitudinal displacement // Human

28. Ecology. – 2018. – Vol. 4. – Pp. 30-35. DOI:10.33396/1728-0869-2018-4-30-35
29. Filatova O.E., Gudkov A.B., Eskov V.V., Chempalova L.S. The concept of uniformity of a group in human ecology // Human Ecology. – 2020. – Vol. 2. – Pp. 40-44. DOI:10.33396/1728-0869-2020-2-40-44
30. Khadartsev A.A., Filatova O.E., Mandryka I.A., Eskov V.V. The Entropy-Based Approach to Physics of Living Systems and the Chaos and Self-Organization Theory // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(3). – Pp. 41-49. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-5
31. Khadartseva K.A., Filatov M.A., Melnikova E.G. The problem of homogenous sampling of cardiovascular system parameters among migrants in the Russian North // Human Ecology. – 2020. – Vol. 7. – Pp. 27-31. DOI:10.33396/1728-0869-2020-7-27-31
32. Patel K., Blackard M.F., Pandya D.A., Srivastava P., Gupta M., Pandya A.S. Hyperuricemia and cardiovascular implications, WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine, ISSN / E-ISSN: 1109-9518 / 2224-2902. – 2020. – Vol. 17(16). – Pp. 143-148.
33. Vasilaki E., Antonidakis E. Medicine detection with low frequency electromagnetic signals, WSEAS, Transactions on Biology and Biomedicine, ISSN / E-ISSN: 1109-9518 / 2224-2902. – 2020. – Vol. 17(12). – Pp. 99-103.
34. Wolf A., Swift J. B., et al. Determining Lyapunov exponents from a time series // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 1985. – Vol. 16(3). – Pp. 285-317.
35. Zaslavsky B.G., Filatov M.A., Eskov V.V., Manina E.A. Non-Stationary States in Physics and Biophysics // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(2). – Pp. 61-67. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-2-7
- of the USSR. - M.: Medgiz, 1947– - 255 p.
2. Gazya G.V., Beloshchenko D.V. Rezul'taty skringovogo ekspres-monitoringa sostoyaniya serdechno-sosudistoi sistemy rabotnits neftegazovogo kompleksa podverzhennykh vozdeistviyu elektromagnitnykh polei [Results of express screening monitoring of the state of the cardiovascular system of female workers in the oil and gas complex exposed to electromagnetic fields] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnoe izdanie [Bulletin of new medical technologies. Electronic edition]. – 2019. – № 5. Publikatsiya 2-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2019-5/2-3.pdf>. DOI: 10.24411/2075-4094-2019-16536.
3. Gazya G.V., Boltaev A.V., Gimadiev B.R., Moroz O.A. Promyshlennye elektromagnitnye polya kak faktory vozrastnykh izmenenii [Industrial electromagnetic fields as factors of age-related changes] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2017. – № 2. – S. 24-31. DOI: 10.12737/article_594cef7be06a51.85647474
4. Gazya G.V., Es'kov V.V., Stratan N.F., Salimova Yu.V., Ignatenko Yu.S. Ispol'zovanie iskusstvennykh neirosetei v promyshlennoi ekologii [The use of artificial neural networks in industrial ecology] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2021. – № 2. – S. 111-114. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-2-111-114.
5. Galkin V.A., Eskov V.V., Pyatin V.F., Kirasirova L.A., Kulchitsky V.A. Sushchestvuet li stokhasticheskaya ustoichivost' vyborok v neironaukakh? [Is there stochastic sample stability in neurosciences?] // Novosti mediko biologicheskikh nauk [News of biomedical sciences]. – 2020. – T. 20, No. 3. – S. 126-132

References

1. Bernstein N.A. On the construction of movements / Prof. N. A. Bernstein chl.-cor. Academy of Medical Sciences

6. Denisova L.A., Beloshchenko D.V., Bashkatova Yu.V., Gorbunov D.V. Osobennosti regulyatsii dvigatel'nykh funktsii u zhenshchin [Features of the regulation of motor functions in women] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical Medicine and Pharmacology]. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 11-16.
7. Eskov V.V. Matematicheskoe modelirovanie gomeostaza i evolyutsii complexity [Mathematical modeling of homeostasis and evolution of complexity] / Tula: Publishing house of TulSU, 2016. – 307 s.
8. Eskov V.V., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S., Vedeneeva TS, Mordvintseva A.Yu. Problema standartov v meditsine i fiziologii [The problem of standards in medicine and physiology] // Arkhiv klinicheskoi i eksperimental'noi meditsiny [Archives of Clinical and Experimental Medicine]. – 2020. – Т. 29, No. 3. – С. 211-216.
9. Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatova D.Yu. Bashkatova Yu.V. Khaos parametrov gomeostaza serdechno-sosudistoi sistemy cheloveka [Chaos of homeostasis parameters of the human cardiovascular system] / Samara: Publishing house of Porto-Print LLC, 2018. – 312 s.
10. Eskov V.V., Pyatin V.F., Shakirova L.S., Melnikova E.G. Rol' khaosa v regulyatsii fiziologicheskikh funktsii organizma [The role of chaos in the regulation of physiological functions of the body] / A.A. Khadartseva. Samara: Porto-print LLC, 2020. – 248 s.
11. Es'kov V.M., Gazya G.V., Sokolova A.A., Vasil'eva A.Yu. Analiz i sintez parametrov vektora sostoyaniya vegetativnoi nervnoi sistemy korenno i prishlogo naseleniya Yugry [Analysis and synthesis of the parameters of the vector of the state of the autonomic nervous system of the indigenous and newcomer population of Ugra] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2012. – Т. 19, № 4. – С. 18-21.
12. Eskov V.M., Galkin V.A., Pyatin V.F., Filatov M.A. Organizatsiya dvizhenii: stokhastika ili khaos? [Organization of movements: stochastic or chaos?] / G.S. Rosenberg. Samara: Publishing house LLC "Porto-print", 2020. – 144 s.
13. Eskov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. Complexity: khaos gomeostaticheskikh sistem [Complexity: Chaos of Homeostatic Systems] / G.S. Rosenberg. Samara: Publishing house of LLC "Porto-print", 2017. – 388 s.
14. Eskov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. Konets opredelennosti: khaos gomeostaticheskikh sistem [The End of Certainty: Chaos of Homeostatic Systems] / Khadartseva A.A., Rosenberg G.S. Tula: publishing house Tula printing production association, 2017. – 596 s.
15. Kozlova V.V., Filatov M.A., Eskov V.V., Shakirova L.S. Noveye podkhody v izmerenii biosistem s pozitsii "Complexity" W. Weaver i "Fuzziness" L.A. Zadeh [New approaches to measuring biosystems from the standpoint of "Complexity" W. Weaver and "Fuzziness" L.A. Zadeh]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2021. – No. 1. – С. 59-68. DOI: 10.12737 / 2306-174X-2021-70-78
16. Pyatin V.F., Eskov V.V., Filatova O.E., Bashkatova Yu.V. Noveye predstavleniya o gomeostaze i evolyutsii gomeostaza [New ideas about homeostasis and the evolution of homeostasis] // Arkhiv klinicheskoi i eksperimental'noi meditsiny [Archives of Clinical and Experimental Medicine]. – 2019. – Т. 28, No. 1. – С. 21-27.
17. Pyatin V.F., Es'kov V.V., Miller A.V., Ermak O.A. Stokhastika i khaos v neirosetyakh mozga [Stochastics and chaos in neural networks of the brain] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical Medicine and Pharmacology]. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 14-19.
18. Filatova O.E., Bashkatova Yu.V., Melnikova E.G., Chempalova L.S. Parametry kardiintervalov zhenshchin Severa RF pri dozirovannykh nagruzkakh [Parameters of cardiointervals of women in the North of the Russian Federation with metered loads] // Klinicheskaya meditsina i farmakologiya [Clinical

- Medicine and Pharmacology]. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 6-10.
19. Filatova O.E., Mezentseva L.V., Gazya G.V., Sokolova A.A. Otsenka bioelektricheskoi aktivnosti serdtsa u predstavitelei koren'nogo naseleniya khanty metodami teorii khaos-samoorganizatsii [Assessment of the bioelectric activity of the heart in representatives of the indigenous population of the Khanty using the methods of the theory of chaos-self-organization] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2017. – № 4. – С. 22-28. DOI: 10.12737/article_5a1c029cbef6d9.898826 21
 20. Benettin G., Galgani L., et al. Lyapunov characteristic exponents for smooth dynamical systems and for Hamiltonian systems: a method for computing all of them // Meccanica. – 1980. – Vol. 15. – Pp. 9-30.
 21. Burykin Y.G. A Video Tracking System for the Registration of Upper Extremity Motions // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(3). – Pp. 23-32. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-3
 22. Eskov V.M. Gudkov A.B., Filatov M.A. Eskov V.V. Principles of homeostatic regulation of functions in human ecology // Human Ecology. – 2019. – Vol. 10. – Pp. 30-35. DOI:10.33396/1728-0869-2019-10-30-35
 28. Ecology. – 2018. – Vol. 4. – Pp. 30-35. DOI:10.33396/1728-0869-2018-4-30-35
 29. Filatova O.E., Gudkov A.B., Eskov V.V., Chempalova L.S. The concept of uniformity of a group in human ecology // Human Ecology. – 2020. – Vol. 2. – Pp. 40-44. DOI:10.33396/1728-0869-2020-2-40-44
 30. Khadartsev A.A., Filatova O.E., Mandryka I.A., Eskov V.V. The Entropy-Based Approach to Physics of Living Systems and the Chaos and Self-Organization Theory // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(3). – Pp. 41-49. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-5
 31. Khadartseva K.A., Filatov M.A., Melnikova E.G. The problem of homogenous sampling of cardiovascular system parameters among migrants in the Pp. 41-49. DOI:10.33396/1728-0869-2019-10-41-49
 23. Eskov V.M., Pyatin V.F., Bashkatova Y.V. Medical and Biological Cybernetics: Perspectives of Development // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(1). – Pp. 58-67. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8
 24. Eskov V.M., Zinchenko Y.P., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Glansdorff-Prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress // Human Ecology. – 2017. – Vol. 5. – Pp. 27-32. DOI:10.33396/1728-0869-2017-5-27-32
 25. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones // Human Ecology. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 11-16. DOI:10.33396/1728-0869-2019-7-11-16
 26. Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Makeeva S.V. Psychophysiological parameters of students before and after translatitude travels // Human Ecology. – 2019. – Vol. 4. – Pp. 18-24. DOI:10.33396/1728-0869-2019-4-18-24
 27. Filatova D.Yu., Bashkatova Yu.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Parameter evaluation of cardiovascular system in schoolchildren under the conditions of latitudinal displacement // Human Russian North // Human Ecology. – 2020. – Vol. 7. – Pp. 27-31. DOI:10.33396/1728-0869-2020-7-27-31
 32. Patel K., Blackard M.F., Pandya D.A., Srivastava P., Gupta M., Pandya A.S. Hyperuricemia and cardiovascular implications, WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine, ISSN / E-ISSN: 1109-9518 / 2224-2902. – 2020. – Vol. 17(16). – Pp. 143-148.
 33. Vasilaki E., Antonidakis E. Medicine detection with low frequency electromagnetic signals, WSEAS, Transactions on Biology and Biomedicine, ISSN / E-ISSN: 1109-9518 / 2224-2902. – 2020. – Vol. 17(12). – Pp. 99-103.
 34. Wolf A., Swift J. B., et al. Determining Lyapunov exponents from a time series //

Physica D: Nonlinear Phenomena. – 1985.
– Vol. 16(3). – Pp. 285-317.

35. Zaslavsky B.G., Filatov M.A., Eskov V.V., Manina E.A. Non-Stationary States in Physics and Biophysics // Russian Journal of Cybernetics. – 2020. – Vol. 1(2). – Pp. 61-67. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-2-7