

ПОНЯТИЕ ОДНОРОДНОЙ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

В. М. Еськов¹, О. Е. Филатова¹, В. А. Галкин¹, Е. А. Манина²

¹ООО «Конструкторское бюро «Автоматизированные системы
и системный анализ», г. Сургут, firing.squad@mail.ru

²Сургутский государственный университет

Рассматриваются термины одинаковой и однородной группы в рамках трех подходов в науке: детерминистского, стохастического и с позиций теории хаоса-самоорганизации. Традиционный подход требует определенного равенства функций, траекторий и т. д., что для биосистем невозможно. Доказано, что в рамках детерминизма (точное совпадение траекторий движения вектора $x(t)$ в фазовом пространстве состояний), где аппаратом является функциональный анализ, и стохастики (две выборки параметров двух групп относятся к одной генеральной совокупности) модели неприменимы к медико-биологическим наукам. Точного равенства функций, включая статические, получить для биосистем невозможно из-за их гомеостатичности. С позиций новой теории гомеостаза вводятся особые критерии однородности группы. Для каждой выборки рассчитаны параметры *квазиаттракторов* (КА) и введены неравенства на вариации фазовых координат. Тогда КА параметров двух и более групп могут находиться в пределах одинаковых общих квазиаттракторов. Вводится критерий однородности по координатам центров этих КА. Аналогичны критерии и для термина «одинаковый», когда центры любого КА не показывают параметры (пределы) любого КА из однородной группы испытуемых. Представлен алгоритм для расчета однородности, основанный на расчетах центров и границ КА.

Ключевые слова: однородность физиологическая и математическая, квазиаттрактор, центр аттракторов.

CONCEPT OF HOMOGENEOUS SYSTEM IN MODERN SCIENCE

V. M. Eskov¹, O. E. Filatova¹, V. A. Galkin¹, E. A. Manina²

¹LLC "Design office "Automated Systems and Systems Analysis",
Surgut, firing.squad@mail.ru

²Surgut State University

The article considers the terms of the same and homogeneous group within the framework of three approaches in science: determinism, stochastics and the theory of chaos-self-organization. The traditional approach requires a certain equality (functions, trajectories, etc.), but this is impossible for biosystems. It is proved that determinism (exact coincidence of the trajectories of the motion of the vector $x(t)$ in the phase space of states), where the apparatus is a functional analysis, and stochastics (two samples of the parameters of the two groups belong to the same population) are not applicable to the medical and biological sciences. It is impossible to obtain exact equality of functions for biosystems (including static ones) because of their ultrastability. From the perspective of the new theory of homeostasis, special criteria for the homogeneity of the group are introduced. For each sample, the parameters of *quasi-attractors* are calculated and inequalities are introduced on the variation of the phase coordinates. Then the quasi-attractors of the parameters of two (or more) groups can be found in the same general quasi-attractors. A homogeneity criterion is introduced for the coordinates of the centers of these quasi-attractors. Similar criteria are used for the term "the same" when the centers of any quasi-attractor do not show the parameters (limits) of any quasi-attractors from a homogeneous group of subjects. The article presents an algorithm for calculating homogeneity, based on calculations of centers and boundaries of quasi-attractors.

Keywords: physiological and mathematical homogeneity, quasi-attractor, center of attractors.

Введение. Традиционно термин «одинаковый» в стохастике применяется для объектов и процессов, когда выборки параметров 1-го и 2-го гомеостаза сравниваемых объектов могут быть отнесены к одной генеральной совокупности. В этом случае с определенной вероятностью, например, $\beta \geq 0,95$, две такие выборки можно отнести к одной генеральной совокупности. При этом подразумевается, что такие объекты, например, два и более испытуемых, участвуют в некотором общем процессе. В медицине и биологии постулируется, что однородность группы базируется на гендерных признаках, возрасте, одинаковых эко-условиях. При этом четких математических критериев однородности экспериментальной группы в биомедицине нет [2–5].

Однако реальное понятие системы, состоящей из одинаковых однородных объектов, в современной медико-биологической науке требует уточнений и отдельного изучения. Морфо-функциональная и любая другая общность априори подразумевает однородность группы в биомедицине. До настоящего времени такие объекты – единицы сложной системы, считались однородными, если испытуемые были одинакового пола (однородность подразумевает и гендерную однородность), возраста или обладали сходными физиологическими (психическими) параметрами. При этом точных критериев включения в группу или исключения с позиций математики на сегодня нет. Сходные параметры организма являются ключевым термином во всей науке о живом, но само понятие «сходный» или «однородный» математически не определено.

Действительно, если объекты, которые объединяют в группы, не будут одинаковыми, группа будет неоднородной, состоящей из разных подсистем или объектов, то как такую неоднородную группу можно изучать? Это все равно, что в общую группу включать больных и здоровых людей при условии отсутствия гендерных различий. В настоящей работе первоначально показана существенная неоднородность любой группы испытуемых именно с позиций статистического подхода, который является базой всей современной биомедицины. Затем вводятся новые критерии однородности (одинаковости) элементов группы (системы), которые базируются на новых принципах стационарности биосистем и новой *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС). Это раскрывает совершенно новые перспективы в изучении биосистем как *систем третьего типа* (СТТ) по классификации W. Weaver, 1947 г. [23]. Показано, что СТТ являются *гомеостатическими системами* (ГС) с особыми свойствами отсутствия статистической устойчивости, когда не совпадают подряд полученные выборки параметров x_i системы в неизменном гомеостазе [1–11].

1. Критерии одинаковости и однородности систем и процессов. В современной *детерминистской и стохастической науке* (ДСН) существует ряд функциональных понятий о неизменности и однородности систем. Подчеркнем, что в ДСН мы оперируем или с функциональным анализом, или с методами стохастики – статистическими функциями $f(x)$. В рамках детерминистского подхода – функционального анализа, однородность системы подразумевает одинаковость (сходство) элементов системы, которые ее образуют. Это традиционный подход, и он базируется на точных равенствах параметров $x_i(t)$. Общепринято в детерминизме простое равенство параметров, они образуют компоненты вектора состояния системы $x = x(t) = (x_1, x_2 \dots x_m)^T$ в *фазовом пространстве состояний* (ФПС) элементов биосистемы, т. е. $x_i = x_j$, где индексы i и j представляют номера элементов $i \neq j$ из общей (одной) полученной выборки параметров $x(t)$ в ФПС, так как $i = j$ – это тривиальное равенство, тождество.

Однако если мы говорим о динамике сложной гомеостатической системы, то это означает точное повторение траектории движения вектора состояния системы $x = x(t) = (x_1, x_2 \dots x_m)^T$ в ФПС. Иными словами, должна совпадать первая траектория (за Δt_1) и вторая траектория (за $\Delta t_2 = \Delta t_1$). Любое дифференциальное, разностное, интегральное и т. д. уравнение в рамках функционального анализа при неизменности самого этого уравнения и его начальных параметров $x(t_0)$ согласно задаче Коши должно точно повторять развитие процесса в ФПС неограниченное число раз. Траектории за Δt_1 и Δt_2 при $\Delta t_1 = \Delta t_2$ и неизменном $x(t_0)$ должны совпадать точно в ФПС, что выполнить для ГС невозможно в принципе, так как уже $x(t_0)$ невозможно

точно повторить – нет задачи Коши! [12–22]. Это составляет основу *эффекта Еськова – Зинченко* (ЭЕЗ) в биомеханике [2–9].

Единственное исключение было получено для дифференциальных уравнений во второй половине XX века в связи с открытием динамического хаоса Лоренца. Этот хаос может завершиться странным аттрактором, в котором конечное состояние $x(t_k)$ не совпадает. В этом хаосе задание уравнений $dx/dt = F(x, t)$ с повторяемыми начальными условиями $x(t_0)$ не определяет дальнейшую траекторию вектора $x(t)$ в ФПС и его конечное состояние $x(t_k)$. Получаемые при повторении решения дифференциальных уравнений $x(t_k)$ не совпадают. При этом и само уравнение, и $x(t_0)$ могут многократно повторяться, но $x(t_k)$ может определяться на равномерном распределении $f(x)$ в виде странного аттрактора со свойством перемешивания и положительными константами Ляпунова. Можно сказать, что хаос Лоренца является предельным значением статистического представления динамики процесса. В этом случае мы имеем сохранение статистической функции распределения $f(x)$, но она принимает равномерный характер.

В этой связи и в стохастике, а также в науке в целом возникает другое представление об одинаковости и однородности системы и процесса, происходящего с системой. В аттракторах Лоренца мы имеем равномерное распределение, и оно тоже, как в ДСН, повторяется. В любом случае для неизменности системы может быть $x_i \neq x_j$, но должны повторяться статистические функции распределения $f(x_i)$ для каждого компонента x_i вектора $x(t)$. Это общее требование неизменности системы в стохастике, означающее, что две сравниваемые выборки одной и той же координаты x_i можно отнести к одной генеральной совокупности. Но эти конечные статистические функции могут быть разными, включая и равномерное распределение Лоренца. Например, по критерию Вилкоксона, при $p \geq 0,05$ будем говорить о статистическом совпадении полученных выборок одного и того же компонента x_i вектора $x(t)$. Если для всех x_i , по всем выборкам x_i критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$, то группа однородная. Группы, состоящие из таких элементов, с одинаковыми выборками x_i в разных испытаниях тоже будут однородными группами. Однако получить такую статистическую однородность в реальном биомедицинском исследовании оказалось очень сложно [12–22].

Легко увидеть, что критерии одинаковости (однородности) элементов системы в стохастике существенно отличаются от критериев в детерминизме. В стохастике мы имеем большие выборки и большие условности – совпадение идет по критерию $p \geq 0,05$. В детерминизме мы имеем строгое равенство, а в стохастике требуем, чтобы $p \geq 0,05$, и любое совпадение будет не точным, а с некоторой вероятностью $\beta \geq 0,95$. Однако здесь уже мы вступаем в область неравенств, а не равенств как в детерминизме. Правда, эти неравенства накладываются не на сами значения $x_i(t)$, а на их вероятности p (у нас требуется, чтобы $p \geq 0,05$). Переход от равенств к неравенствам впервые в физике совершил Гейзенберг в виде неравенства на сопряженные величины $x_1(t)$ и скорость $x_2 = dx_1/dt$ в виде $\Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq k$, где k – некоторая константа для данной частицы с фиксированной массой m ($k = h/(4\pi m)$), где h – постоянная Планка. Подчеркнем, что переход от равенства к неравенству реально был осуществлен в ТХС в виде *эффекта Еськова – Зинченко* (ЭЕЗ).

2. Полная неопределенность координат x_i в ТХС. Действительно, в ТХС был введен второй принцип неопределенности для ГС в виде *квазиаттрактора* (КА). Такие КА задаются уже системой неравенств в виде $Z_{max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq Z_{min}$, где Z_{min} и Z_{max} – некоторые константы, характеризующие состояние ГС в ФПС [9–14, 20–24]. Отметим, что эти неравенства являются сигналом соотношения Гейзенберга в квантовой механике, но они уже применены к ГС для любого начального диагностического признака x_i , входящего в $x(t)$ [1–12].

Появление такой неопределенности доказывается в биомеханике в виде эффекта Еськова – Зинченко, но сейчас в новой теории гомеостаза это распространяется на все регуляторные системы [8–14, 21–24]. В первую очередь речь идет о *нервно-мышечной системе* (НМС) и *кардио-респираторной системе* (КРС). Для примера представим доказательство ЭЕЗ для биопотенциалов мышц в виде *электромиограмм* (ЭМГ). ЭМГ генерируются мышцами, например, в неизменном статическом состоянии, в нашем примере сила сжатия мышцы *musculus adductor*

digiti mini (MADM) $F_1 = 50$ Н) для всех испытуемых из группы в 15 человек [1–11].

Полученные выборки ЭМГ (период квантования $\tau = 10$ мс, длительность регистрации $T = 5$ с, всего 500 точек ЭМГ в каждой выборке) от каждого из 15 испытуемых сравнивали по критерию Краскела – Уоллиса, и строили матрицу парных сравнений полученных выборок ЭМГ. В такой матрице 15×15 (табл.) обычно для ЭМГ число пар k бывает весьма невелико (эти две выборки относятся к одной генеральной совокупности по критерию Краскела – Уоллиса $p \geq 0,05$). Обычно $k < 10$, т. е. доля стохастики менее 10 % из всех 105 независимых пар сравнения.

Таблица

Непараметрический критерий Краскела – Уоллиса (p^*) для попарных сравнений выборок параметров ЭМГ для группы испытуемых из 15 ($k = 9$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
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	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	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	1,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,59	0,00	0,00	0,11	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
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		0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34		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		0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		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		1,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00		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	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

* Примечание: p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$).

Очевидно, что малые значения $k = 9$ в таких матрицах парных сравнений выборок доказывают высокую неоднородность всей группы из 15 человек (табл.). Получается, что их объединение в группу было фиктивным, так как число статистически сходных пар из всех 105 пар для ЭМГ крайне мало – менее 10 %. Очевидно, что правильный вывод для каждого примера с ЭМГ – группа неоднородна, выборки ЭМГ все различны, статистически не похожи между собой.

Возникает вполне законный вопрос: с чем связана такая неоднородность в динамике поведения ЭМГ? Одновременно возникает и второй вопрос: каковы должны быть критерии высокой однородности группы? Ответим на второй вопрос, так как первый связан с особыми физиологическими механизмами гомеостатического регулирования.

3. Новые методы формирования однородной группы в ТХС. Поскольку в ЭЕЗ доказано отсутствие статистической устойчивости выборок, в частности для одного испытуемого, находящегося в неизменном гомеостазе, вводим иные методы определения однородности группы. Эти методы базируются на расчетах параметров квазиаттракторов всех выборок ЭМГ для каждого испытуемого и сравнении координат центров КА с параметрами КА всей группы. Если любой из группы – в нашем случае 15 человек с ЭМГ – имеет свой центр КА так, что его координаты x_i^c не покидают пределы каждого из 15 КА, то группа считается однородной.

Кроме расчета координат центров КА необходимо также сравнивать и размеры КА. Критическими считаются пары КА, для которых объем V_G^1 для одного КА превышает V_G^2 для другого. Соотношение $\frac{1}{2} \geq V_G^1 / V_G^2 \geq 2$ должно нарушать признак однородности выбранной группы испытуемых. Отметим, что по этим критериям – выход центра любого КА из группы

за пределы V любого КА или нарушение неравенства $V_G^1 / V_G^2 \geq 2$, нужно автоматически освобождаться или от такой пары по объемам, или от одной выборки, если ее центр КА покидает любой КА из группы (см. табл.).

Выводы:

1. Поскольку любая группа испытуемых по параметрам статистики не является однородной, так как ее $k < 10$ – в нашем случае с ЭМГ, необходимы другие критерии оценки однородности экспериментальных групп в биомедицине. Эти критерии выходят за пределы традиционной статистики.

2. В рамках новой теории хаоса-самоорганизации предлагается рассчитывать параметры квазиаттракторов. По значениям объемов квазиаттракторов V_G и по координатам их центров можно определить однородность группы. Если объекты двукратно изменяются или центр любого из группы КА покидает объем любого КА, то эти изменения трактуют как нарушение однородности. В идеале такие выборки следует отбрасывать как не удовлетворяющие требованиям однородности группы. Методы ТХС выходят за пределы стохастики и всей ДСН.

Литература

1. Болтаев А. В., Газя Г. В., Хадарцев А. А., Синенко Д. В. Влияние промышленных электромагнитных полей на хаотическую динамику параметров сердечно-сосудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология человека. 2017. № 8. С. 3–7.
2. Григоренко В. В., Еськов В. М., Лысенкова С. А., Микшина В. С. Алгоритм автоматизированной диагностики динамики возрастных изменений параметров сердечно-сосудистой системы при нормальном старении в оценке биологического возраста // Систем. анализ и управление в биомед. системах. 2017. Т. 16. № 2. С. 357–362.
3. Денисова Л. А., Прохоров С. А., Шакирова Л. С., Филатова Д. Ю. Хаос параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях широтных перемещений // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 133–142. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-15989.
4. Еськов В. В. Проблема статистической неустойчивости в биомеханике и в биофизике в целом // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 166–175. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16071.
5. Еськов В. В. Эволюция систем третьего типа в фазовом пространстве состояний // Вестник кибернетики. 2017. № 3 (27). С. 53–58.
6. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Клюс Л. Г., Миллер А. В. Гомеостатичность нейросетей мозга // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 102–113. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-15985.
7. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Еськов В. М., Григорьева С. В. Особенности регуляции сердечно-сосудистой системы организма человека нейросетями мозга // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 188–199. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16073.
8. Козупица Г. С., Хадарцева К. А., Шелим Л. И. Теория хаоса-самоорганизации – фундамент развития общей теории систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2018. № 1. С. 63–70. DOI: 10.12737/article_5aaa70db233d79.78842467.
9. Мирошниченко И. В., Прохоров С. В., Эльман К. А., Срыбник М. А. Сравнительный анализ хаотической динамики показателей сердечно-сосудистой системы пришлого детско-юношеского населения Югры // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 154–160. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-15997.
10. Мирошниченко И. В., Башкатова Ю. В., Филатова Д. Ю., Ураева Я. И. Эффект Еськова – Филатовой в регуляции сердечно-сосудистой системы – переход к персонифицированной медицине // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 200–208. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16074.
11. Прохоров С. В., Якунин В. Е., Белощенко Д. В., Башкатова Ю. В. Неопределенность параметров кардиоинтервалов испытуемого в условиях физической нагрузки // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 2. С. 176–187. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16072.

12. Пятин В. Ф., Еськов В. В., Алиев Н. Ш., Воробьева Л. А. Хаос параметров гомеостаза функциональных систем организма человека // Вестник новых мед. технологий. 2018. Т. 25. № 1. С. 143–153. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-15990.
13. Зинченко Ю. П., Филатов М. А., Колосова А. И., Макеева С. В. Сравнительный стохастический и хаотический анализ параметров внимания учащихся в аспекте их работоспособности // Вестник Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2017. № 4. С. 21–33.
14. Якунин В. Е., Белощенко Д. В., Афаневич К. А., Горбунов Д. В. Оценка параметров электромиограмм в рамках теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 1. С. 33–40. DOI: 10.12737/article_58ef6cb9774501.10816350.
15. Яхно В. Г., Горбунов Д. В., Булатов И. Б., Горбунов С. В. Термодинамика неравновесных систем И. Р. Пригожина в оценке параметров электромиограмм // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2018. № 1. С. 71–79. DOI: 10.12737/article_5aaa71fb4ef8f9.94011446.
16. Eskov V. V., Filatova O. E., Gavrilenko T. V., Gorbunov D. V. Chaotic Dynamics of Neuromuscular System Parameters and the Problems of the Evolution of Complexity // Biophysics. 2017. Vol. 62. № 6. P. 961–966.
17. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62. № 11. P. 1611–1616.
18. Eskov V. M., Filatova O. E., Eskov V. V., Gavrilenko T. V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // Biophysics. 2017. Vol. 62. № 5. P. 809–820.
19. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Ilyashenko L. K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. Vol. 72. № 3. P. 309–317.
20. 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. № 5. P. 27–32.
21. Filatova D. U., Veraksa A. N., Berestin D. K., Streltsova T. V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // Human Ecology. 2017. № 8. P. 15–20.
22. Filatova O. E., Bazhenova A. E., Ilyashenko L. K., Grigorieva S. V. Estimation of the Parameters for Tremograms According to the Eskov – Zinchenko Effect Biophysics // Biophysics. 2018. Vol. 63. № 2. P. 125–130.
23. Weaver W. Science and Complexity // American Scientist. NY : Rokfeller Foundation, 1948. Vol. 36. P. 536–544.
24. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Ilyashenko L. K., Eskov V. V., Minenko I. A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and medicine. 2018. Vol. 165. № 4. P. 415–418. DOI: 10.1007/s10517-018-4183-x.