

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ ФЕНОМЕНОВ НА ПРИМЕРЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БИОСИСТЕМЫ (СЭБ)

Шаповалов Александр Борисович¹,

e-mail: shapovalov-ab@yandex.ru

¹Московский университет имени С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

В статье исследуется устойчивость природных феноменов, определяющая состоятельность восприятия действительности. Адекватным примером исследования определена многоаспектная и многопараметричная социально-экономическая биосистема (СЭБ) как носитель феномена жизни. Отмечается стремительное накопление информации обо всех аспектах многомерного пространства СЭБ цифровизацией. Исходя из этого, многомерное пространство математически формализуется векторным пространством признаков. Из чего формируется геометрия многомерного информационного пространства СЭБ, позволяющего моделировать как прямые, так и обратные задачи анализа. Формализация геометрии многомерного информационного пространства СЭБ регламентируется 3 функционалами, отражающими социально-политические, экономические и биологические (в т.ч. медицинские) аспекты в виде геометрических образов. Проецирование геометрических образов в пространства меньшей размерности позволяет интерполировать и/или аппроксимировать числовые массивы образов функционалов СЭБ в аналитический вид. Полученное аналитическое представление образов СЭБ предоставляет возможность традиционных исследований их свойств. В 2-мерном измерении (плоскости) СЭБ представлена каноническими полиномами различных степеней. Показано, что необходимое и достаточное условие глобальной устойчивости канонических полиномов определяется по Гурвицу. Отмечается, что уменьшение числа проверок детерминантных неравенств возможно посредством теоремы Лъенара – Шипара и некоторыми иными способами. Проведена оценка глобальной устойчивости природного феномена СЭБ по Гурвицу. Полученные результаты раскрывают потенциал антропогенной управляемости (адаптации) СЭБ. Имманентное моделирование действительности многомерными информационными массивами расширяет математическую задачу оценки устойчивости полинома до устойчивости множества.
Ключевые слова: социально-экономическая биосистема (СЭБ), устойчивость, многомерное пространство, цифровизация, векторное пространство признаков, множества, природные феномены

SUSTAINABILITY OF NATURAL PHENOMENA ON THE EXAMPLE OF SOCIO-ECONOMIC BIOSYSTEMS (SEB)

Shapovalov A.B.¹,

e-mail: shapovalov-ab@yandex.ru

¹Moscow Witte University, Moscow, Russia

The article examines the sustainability of natural phenomena, which determines the consistency of the perception of reality. An adequate example of research is the multidimensional and multiparametric socio-economic biosystem (SEB) as a carrier of the phenomenon of life. There is a rapid accumulation of information about all aspects of the multidimensional space of the SEB by digitalization. Based on this, the multidimensional space is mathematically formalized by the vector feature space. From this, the geometry of the multidimensional information space of the SEB is formed, which makes it possible to simulate both direct and inverse problems of analysis. The formalization of the geometry of the SEB multidimensional information space is regulated by 3 functionals that reflect socio-political, economic and biological (including medical) aspects in the form of geometric images. Projection of geometric images into spaces of lower dimensions makes it possible to interpolate and/or approximate numerical arrays of images of SEB functionals into an analytical form. The obtained analytical representation of SEB images provides an opportunity for traditional studies of their properties. In the 2-dimensional view (plane), the SEB is represented by canonical polynomials of vari-

ous degrees. It is shown that the necessary and sufficient condition for the global stability of canonical polynomials is determined according to Hurwitz. It is noted that reducing the number of checks of determinant inequalities is possible by means of the Liénard – Chipart criterion and some other methods. An assessment of the global stability of the natural phenomenon of SEB according to Hurwitz is carried out. The results obtained reveal the potential of anthropogenic manageability (adaptation) of the SEB. The immanent modeling of reality using multidimensional information arrays extends the mathematical task of evaluating polynomial stability to the stability of a set.

Keywords: socio-economic biosystem (SEB), sustainability, multidimensional space, digitalization, vector space of features, sets, natural phenomena

Введение

Неопровержимо осознание действительности [1] посредством феноменов в условиях эндогенных и экзогенных возмущений. Состоятельность же природных феноменов объективно определяется как равновесие¹ их параметров: неизменность или флуктуации (колебания) относительно своих средних значений.

Очевидно, что адекватное осознание действительности через природные феномены невозможно без оценки их состоятельности, а соответственно, и устойчивости. Исходя из этого, актуализируется *определение устойчивости природных феноменов под воздействием различных возмущений*.

Исследование устойчивости природных феноменов формализацией в рамках «теории² сложности и хаоса» выявляет их сложную³ многоаспектность и многопараметричность. Поэтому такое исследование тотально преследует сложность⁴ их формализации «проклятием размерности»⁵, сводя их к абсурду. Исходя из этого, логично *найти более конструктивный путь оценки устойчивости природных феноменов*.

Обострение конфликтов и демографические катастрофы современного мирового сообщества определяют особую важность исследования устойчивости носителя феномена жизни вида *Homo sapiens* [2] социально-экономической биосистемы (СЭБ). Поэтому определение основ научно-методического подхода исследования устойчивости феномена СЭБ послужит прототипом оценки устойчивости и иных природных феноменов.

Следовательно, задача настоящего исследования состоит в *поиске основ научно-методического подхода оценки устойчивости природных феноменов на примере СЭБ*.

Образы природных феноменов как объект исследования их устойчивости

Адекватная интерпретация действительности ограничена⁶ персональным психологическим сознанием. Заложенное на генном уровне⁷ взаимодействие с себе подобными обеспечивается⁸ распределённой сетью нейронного сознания индивида. Именно это и реализует генно-закрепленный (врождённый) механизм модельного⁹ представления действительности, возмущений и сущностных коммуникаций.

Имманентность информации о действительности принципиально моделируется феноменологическими и логотными¹⁰ формами. Поэтому формализацию и получаемые результаты исследования ограничим преимущественно рамками современного мировоззрения на основе феноменологических форм.

¹ Устойчивость в рамках принципа Ле Шателье: упругость как возврат в исходное состояние при действии малого параметра по Ляпунову (Красовскому, Разумихину); пластичность по Лагранжу (ограничение на решение дифференциальных уравнений поведения системы сверху и снизу).

² Buchanan M. Ubiquity: Why catastrophes happen. – New York: Three Rivers Press, 2001. – 273 p.

³ Например, самоорганизация, нелинейность динамики, эмерджентность, спонтанный порядок, адаптация, петли обратной связи и пр.

⁴ Northrop R.B. Introduction to complexity and complex systems. – CRC press, 2014. – 552 p.

⁵ Экспоненциальный рост количества данных из-за увеличения размерности пространства (Беллман Р.Э., 1984).

⁶ Соколов Е.Н. Очерки по психофизиологии сознания. – Москва: МГУ, 2008. – 255 с.

⁷ A human neurodevelopmental model for William’s syndrome / T. Chailangkarn, Cleber A. Trujillo and others // Nature. – 2016. – Vol. 536. – P. 338–343.

⁸ K-shell decomposition reveals hierarchical cortical organization of the human brain / N. Lahav, B. Ksherim, E. Ben-Simon and others // New Journal of Physics. – 2016. – Vol. 18. – P. 1–16.

⁹ Коган А.Б. Основы физиологии высшей нервной деятельности. Гл. 3. Физиологические механизмы памяти. – 2-е изд. – Москва: Высшая школа, 1988. – С. 53–73, 103.

¹⁰ Логос – «смысл» (понятие, принцип, причина, основание) субстанции или события.

Исходя из этого, действительность представляется множеством природных феноменов, формализуемых многоаспектным многопараметрическим представлением. Такая интерпретация индуцирует геометрию многомерного пространства действительности. Интеллектуальные же системы не только анализируют геометрию многомерного пространства действительности, но и выявляют неизвестные и неструктурированные данные, новые группы подмножеств, скрытые закономерности и обеспечивают сжатие данных классификаций¹¹ и кластеризаций¹².

В общем виде задача устойчивости многомерного пространства действительности формализуется [3] математически. Исходя из этого, природный феномен в общем виде представляется J множеством информации. Это позволяет, разбивая¹³ множество J на L непересекающихся подмножеств природного феномена, распознать конечное множество объектов $\Omega = \{\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{J-1}\}$ в виде его образов:

$$P_\Omega = \{\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_{L-1}\}, \bigcap_{l=0}^{L-1} \Omega_l = \Omega \text{ и } \Omega_l \cap \Omega_i = \emptyset \text{ для всех } l \neq i.$$

В конечном итоге вся информация множества образов природного феномена U трансформируется в проекцию $X = P(U)$ – пространство его признаков. Это позволяет определить $g: X \rightarrow Y$ решающую функцию. Из чего устанавливается соответствие каждому вектору $x = Px \in X$ метки $y_i \in Y$ того класса Ω_i , которому принадлежит соответствующий образ природного феномена, т.е. $g(x) = y_i$, если $x = Px, x \in \Omega_i$.

Наиболее практично каждый из образов природного феномена $\omega \in \Omega$ представлять набором числовых характеристик, образующим векторный признак. В итоге в векторном пространстве признаков¹⁴ природного феномена X каждому его образу x_i определяется вектор-столбец признаков образа природного феномена¹⁵ (формула 1):

$$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots)^T. \tag{1}$$

Обобщённая схема распознавания образов природного феномена представлена на рисунке 1.

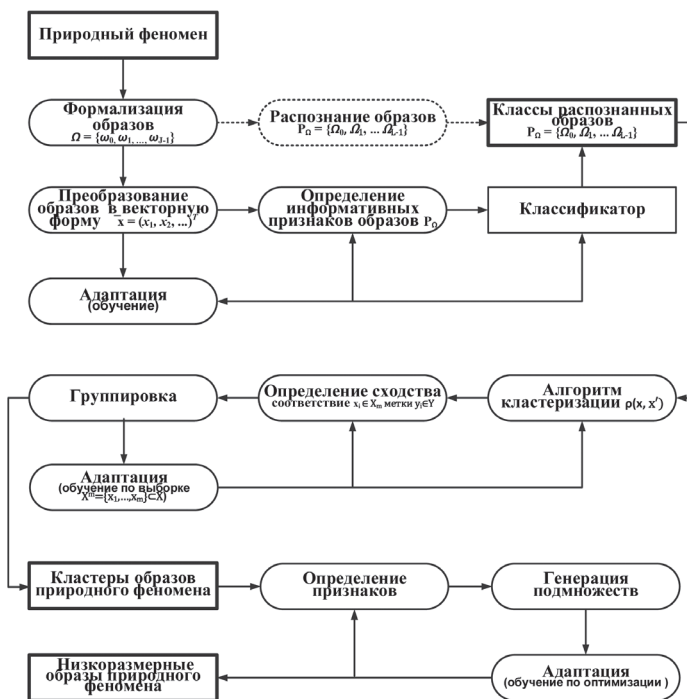


Рисунок 1 – Обобщённая схема распознавания образов природного феномена¹⁶

¹¹ Разбиение пространства по заранее заданным правилам и характеристикам, на классы (подмножества) с присвоением дискретных меток.

¹² Алгоритмическая группировка множеств на основе природных сходств и различий (обучение без учителя).

¹³ Разбиение по информации $J(\omega_i)$ каждого из Ω .

¹⁴ Как правило, пространство является конечномерным и метрическим.

¹⁵ Лепский А.Е., Броневиц А.Г. Математические методы распознавания образов: курс лекций. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 154 с.

¹⁶ Разработан автором.

Соотнесение исходного образа природного феномена x одному из классов ϖ_i иллюстрирует их классификацию (рисунок 1). Соответствие образов природного феномена векторам в метрическом пространстве соотносит образы классу¹⁷ по наиболее информативным признакам.

В итоге на выходе классификатора определяется класс (номер класса), которому принадлежит входной образ природного феномена с указанием степени достоверности классификации. Известная принадлежность образов природного феномена к классам позволяет сформировать и адаптировать (обучать) правила классификации¹⁸ (упорядочивания меток) и правила выбора наиболее информативных признаков. Далее (рисунок 1) кластеризацией классов (векторным квантованием) определяются множества переменных для оценки объектов природного феномена в выборке. Сходство объектов природного феномена создает группы сходных объектов с оценкой достоверности результатов.

Таким образом, на X множестве объектов природного феномена и Y – множестве идентификаторов (имен, меток) кластеров задается алгоритм кластеризации посредством функции расстояния между объектами $\rho(x, x')$ при конечной обучающей выборке объектов $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X$. Это и определяет разбиение выборки на подмножества (кластеры), то есть соответствие каждому объекту $x_i \in X_m$ метки $y_i \in Y$. Суть разбиения в близости объектов природного феномена внутри каждого кластера относительно метрики ρ и существенное их различие из разных кластеров.

Размерность векторного пространства образов природного феномена уменьшается методами выбора признаков (англ. *feature selection*) или выделения признаков (англ. *feature extraction*). В итоге находятся низкоразмерные наборы более информативных данных (несущих больше информации об исходных данных). В общем виде генерируются подмножества признаков образов природного феномена, из которых выбирается наиболее оптимальное.

Таким образом, интеллектуальные математические модели распознавания образов сублимируют все формы информации об устойчивости природных феноменов. В итоге на основе имманентной информации о действительности определяются информационные образы природных феноменов с определенной степенью достоверности и в необходимой размерности.

Цифровизация информации об устойчивости СЭБ

Современное представление действительности постулируется [1] элементарными возбуждениями разнообразных полей, сущность и коммуникации которых реализуются частицами. Из чего следует, что необходимым и достаточным условием самоорганизации всех форм материи являются её трансформации. Вовлечение и интенсификация трансформации природных ресурсов видом *Homo sapiens* [1] выделили этого носителя феномена жизни из всех известных форм.

Гносеология направленной самоорганизации *Homo sapiens* структурным функционализмом¹⁹ [4], поддерживаемым самоадаптацией к возмущениям [1] и обеспечивающим целевое согласие²⁰ её элементов и структур в рамках социальных фактов, породила устойчивый носитель феномена жизни, формализуемый социально-экономической биосистемой (СЭБ)²¹. Исходя из этого, состоятельность вида *Homo sapiens* нашей планеты, на основе известных феноменологических причинно-следственных связей, определяется трансформацией ресурсов.

Таким образом, биологическая природа СЭБ определила её базовые взаимодействующие элементы, социально-политический, экономический и, как материальный носитель, биологический. Из чего вытекает и специфика их антропогенного управления (воздействия). Устойчивость же СЭБ определяется [2] антропогенной адаптацией её базовых взаимодействующих элементов к природным процессам

¹⁷ Например, посредством вычисления расстояния между вектором и классом.

¹⁸ Мясников В.В. Распознавание образов и машинное обучение. Основные подходы. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2023. – 196 с.

¹⁹ Структурированная социальная система общества с механизмами взаимодействия её функциональных элементов (Т. Парсонс, Р. Мертон, Г. Спенсер).

²⁰ Ценности, культурные нормы и социальные структуры, которые выходят за рамки личности и могут осуществлять социальный контроль (Э. Дюркгейм).

²¹ Понятие СЭБ раскрыто и введено автором [2].

самоорганизации на основе трансформации ресурсов. Поэтому необходим подход, раскрывающий реакции СЭБ на эндогенные и экзогенные возмущения в рамках природных [2] процессов её самоорганизации, дабы гарантировать её устойчивость.

Цифровые технологии органически интегрируются²² в природные процессы самоорганизации СЭБ. Глобализация информационных и коммуникационных цифровых технологий динамично трансформирует²³ многомерное пространство СЭБ. Естественным следствием цифровизации явилось стремительное накопление многомерных массивов дискретных числовых величин информации [5] о СЭБ как социально-экономической [6], так и биологической [7].

Переход от аналогового пространства СЭБ к дискретному числовому пространству сопровождается потерей²⁴ части информации. При этом дискретное числовое пространство снижает информационную избыточность²⁵ в сравнении с аналоговым. В результате равномерная и непрерывная дискретизация упорядочивает по независимым переменным последовательность чисел цифрового многомерного пространства СЭБ.

Современные интеллектуальные системы решают задачи численного моделирования разнообразных явлений. Моделируются как прямые задачи, так и обратные, формируя многомерные массивы дискретных числовых величин в зависимости от определяющих параметров. Многомерные численные множества СЭБ открывают возможность²⁶ их целевой обработки, в том числе оценки их устойчивости.

Наиболее объективную информацию о численных множествах, расположенных в области многомерного пространства СЭБ, даёт совокупность методов и алгоритмов анализа многомерных данных (АМД, MDA). Анализ многомерных данных выделяет в многомерных массивах численных множеств скрытые переменные и коммуникации. Визуальное представление многомерных численных множеств адаптирует их к персональному психологическому сознанию²⁷, обеспечивая адекватное распознавание информационных образов СЭБ.

Исходя из этого, логично формализовать цифровое многомерное пространство СЭБ в общем виде, дабы избежать ограничений, накладываемых как использованием конкретных методов, так и целевой обработкой, а также и иными аналогичными факторами.

Формализация СЭБ для исследования устойчивости

Цифровое многомерное пространство СЭБ в общем виде формализуется функционалом $F(\text{СЭБ})$, заданным дискретно в области Θ . Исходя из этого, в рамках функционала $F(\text{СЭБ})$ формализуются и базовые взаимодействующие элементы СЭБ, подлежащие антропогенному управлению.

Исходя из природы СЭБ, базовые взаимодействующие элементы формализуются 3 целевыми функционалами, отражающими социально-политические, экономические и биологические элементы. Из чего вытекает и дальнейшее представление целевой обработки многомерных данных (формула 2):

$$F(\text{СЭБ}) = \left\{ \begin{array}{l} F^C(\mathbb{R}^C) \\ F^{\mathcal{E}}(\mathbb{R}^{\mathcal{E}}) \\ F^B(\mathbb{R}^B) \end{array} \right. \quad (2)$$

где $F^C(\mathbb{R}^C)$ – функционал, отражающий социально-политический элемент СЭБ;

$F^{\mathcal{E}}(\mathbb{R}^{\mathcal{E}})$ – функционал, отражающий экономический элемент СЭБ;

$F^B(\mathbb{R}^B)$ функционал, отражающий биологический (в т.ч. медицинский) элемент СЭБ.

²² Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» на ближайшие пять лет. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/923/about/> (дата обращения: 10.09.2025). – Текст: электронный.

²³ Колин К.К. Новая информационная реальность и наука об информации // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Международной конференции, Москва, 15–17 февраля 2024 года. – Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2024. – С. 163–178.

²⁴ Теоретическая основа дискретизации непрерывных функций. Теорема Уиттекера – Котельникова – Шеннона.

²⁵ Иванов С.А., Стародубцев Ю.И. Теорема о представлении непрерывного многопараметрического сигнала с ненулевой дисперсией дискретными отсчетами // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 2. – С. 12–36.

²⁶ Анализ многомерных данных в задачах многопараметрической оптимизации / А.Е. Бондарев, В.А. Галактионов, Т.Н. Михайлова, И.Г. Рыжова. – Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2012. – № 35. – 16 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша).

²⁷ Соколов Е.Н. Очерки по психофизиологии сознания. – Москва: МГУ, 2008. – 255 с.

Функционал $F^c(\mathbb{R}^c)$ дискретен в области действительных чисел \mathbb{R}^c , расположенной в n -мерном социально-политическом пространстве X^n . Пространство X^n определено конечным множеством ортогональных векторов $X = (\vec{X}_1, \vec{X}_2, \dots, \vec{X}_n)$. Числовые значения функционала $F^c(\mathbb{R}^c)$ заданы в точках n -мерного пространства (x_1, x_2, \dots, x_n) . Расстояния в пространстве X^n определяются посредством метрики в виде обычного евклидова расстояния.

В итоге многомерные данные определяются набором числовых значений, заданных в точках области $\mathbb{R}^c \rightarrow F^c(\mathbb{R}^c) = F^c(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Разбиение каждого координатного направления X_i на m точек определяет функционал $F^c(\mathbb{R}^c)$ m^n количеством точек. Как следствие, функционал $F^c(\mathbb{R}^c)$ представляется геометрическими образами (1) в многомерном социально-политическом пространстве X^n .

Функционал $F^z(\mathbb{R}^z)$ дискретен в области действительных чисел \mathbb{R}^z , расположенной так же в n -мерном экономическом пространстве Z^n . Пространство Z^n определено конечным множеством ортогональных векторов $Z = (\vec{Z}_1, \vec{Z}_2, \dots, \vec{Z}_n)$. Числовые значения функционала $F^z(\mathbb{R}^z)$ заданы в точках n -мерного пространства (z_1, z_2, \dots, z_n) . Расстояния в пространстве Z^n определяются так же посредством обычной евклидовой метрики расстояний.

Многомерные данные определяются набором числовых значений, заданных в точках области $\mathbb{R}^z \rightarrow F^z(\mathbb{R}^z) = F^z(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Разбиение каждого координатного направления Z_i на m точек определяет функционал $F^z(\mathbb{R}^z)$ m^n количеством точек. В итоге функционал $F^z(\mathbb{R}^z)$ представляется так же геометрическими образами (1) в многомерном экономическом пространстве Z^n .

Функционал $F^b(\mathbb{R}^b)$ аналогично дискретен в области действительных чисел \mathbb{R}^b , расположенной так же в n -мерном биологическом пространстве Y^n . Пространство Y^n определено конечным множеством ортогональных векторов $Y = (\vec{Y}_1, \vec{Y}_2, \dots, \vec{Y}_n)$. Числовые значения функционала $F^b(\mathbb{R}^b)$ заданы в точках n -мерного пространства (y_1, y_2, \dots, y_n) . Расстояния в пространстве Y^n аналогично определяет обычная евклидова метрика расстояния.

Естественно, многомерные данные так же определяются набором числовых значений, заданных в точках области $\mathbb{R}^b \rightarrow F^b(\mathbb{R}^b) = F^b(y_1, y_2, \dots, y_n)$. Аналогично и разбиение каждого координатного направления Z_i на m точек определяет функционал $F^z(\mathbb{R}^z)$ m^n количеством точек. В итоге функционал $F^z(\mathbb{R}^z)$ представляется геометрическими образами (1) в многомерном биологическом пространстве Y^n .

Из чего вытекает, что формализованные многомерные данные СЭБ (2) открывают возможность представления её поведения в областях $\mathbb{R}^c, \mathbb{R}^z, \mathbb{R}^b$, индуцируя геометрические образы в многомерных пространствах X^n, Z^n, Y^n . Вполне логично, что анализ многомерных данных СЭБ позволяет получать всевозможную информацию о свойствах и поведении функционала $F(\text{СЭБ})$ в области Θ и оценить его состоятельность.

Устойчивость цифрового многомерного пространства СЭБ

Исследование устойчивости СЭБ на основе исходной информации $F(\text{СЭБ})$ в виде числовых значений многомерного массива данных возможно после предварительной обработки. Для размерности, превышающей стандарт ($n > 3$), общая схема обработки массива числовых данных СЭБ представлена на рисунке 2.

Изначально классификацией и кластеризацией (рисунок 1) уменьшается разбиение области (рисунок 2) многомерных пространств: социально-политического $\mathbb{R}^c \rightarrow F^c(\mathbb{R}^c) = F^c(x_1, x_2, \dots, x_n)$, экономического $\mathbb{R}^z \rightarrow F^z(\mathbb{R}^z) = F^z(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и биологического $\mathbb{R}^b \rightarrow F^b(\mathbb{R}^b) = F^b(y_1, y_2, \dots, y_n)$. Одновременно выделяются наиболее значимые подобласти, особенно при слабоструктурированных данных.

Например, памятуя о современной нестабильности и природе СЭБ, целесообразно выделить признаки алгоритмизации и конечных обучающих выборок геометрических образов (рисунок 1) в многомерных пространствах X^n, Z^n, Y^n :

- для $F^c(\mathbb{R}^c)$ – функционала, отражающего социально-политические аспекты СЭБ, признак – *обеспеченность ресурсами СЭБ*;
- для $F^z(\mathbb{R}^z)$ – функционала, отражающего экономические аспекты СЭБ, признак – *скорость трансформации ресурсов*;

– для $F^B(\mathbb{R}^B)$ – функционала, отражающего биологические аспекты СЭБ, признак – демография СЭБ.

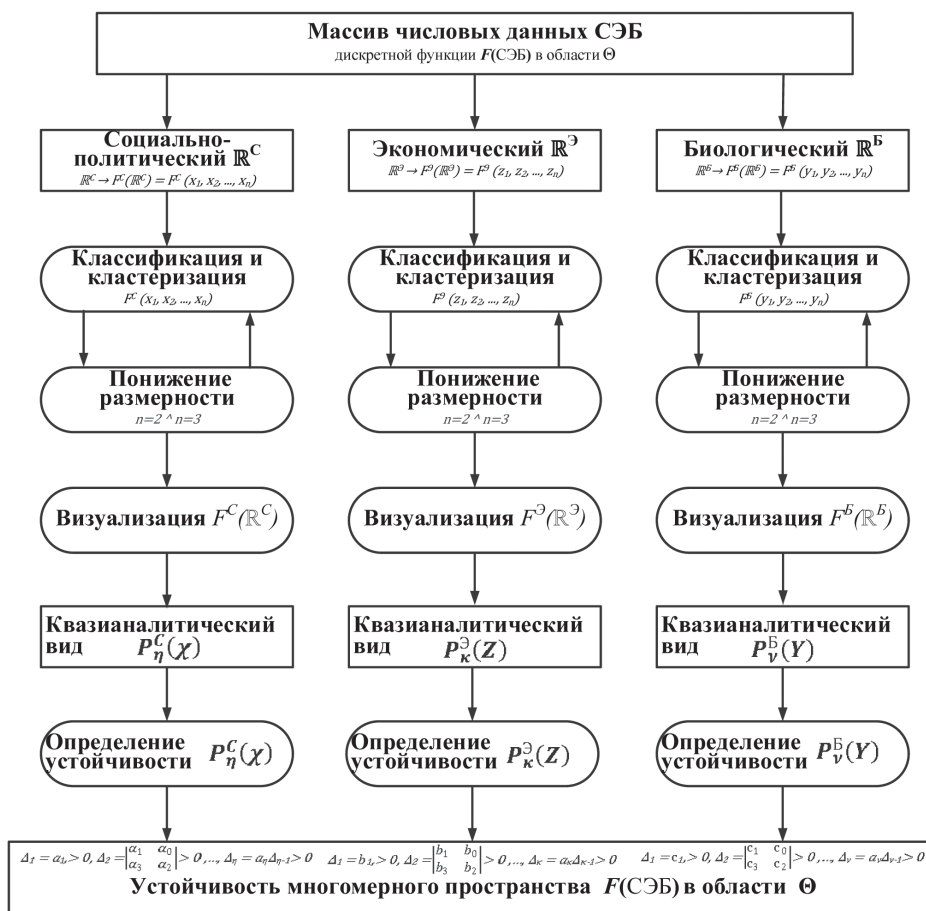


Рисунок 2 – Обобщённая схема обработки многомерных числовых данных информации СЭБ²⁸

Понижение размерности числовых массивов²⁹ (рисунок 1) проецирует данные в пространства меньшей размерности, сохраняя информативность образов. Однако следует постулировать отсутствие нарушения минимально необходимого математического условия топологии о непрерывных отображениях. Этот постулат упрощает настоящее исследование в математическом представлении отсутствием разрывов функционалов, но не исключает их дальнейшее исследование.

Уменьшение размерности (рисунок 2) классификацией и кластеризацией сокращает количество признаков образов, сохраняя определяющую информацию и минимизируя «шумы» и затраты ресурсов для обработки их числовых массивов. Проецирование образов СЭБ в пространства меньшей размерности позволяет их визуализировать в виде: графиков, диаграмм, гистограмм, невыпуклых мультимодальных изображений³⁰, дашбордов³¹ и др.

Сублимация информации многомерных пространств сокращением их размерности ($n=2 \wedge n=3$) позволяет интерполяцией и/или аппроксимацией преобразовать числовые массивы [8] образов функ-

²⁸ Разработан автором.

²⁹ Анализ главных компонент (PCA), разложение по сингулярным числам (SVD), линейный дискриминантный анализ (LDA), генетическое уменьшение размерности (ГУР).

³⁰ Шаповалов А.Б. Мультимодальная генетическая оптимизация экономических систем // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2022. – № 4 (43). – С. 55–61.

³¹ Аналитические онлайн-таблицы («дашборды») как эффективный инструмент принятия управленческих решений / Г.В. Иванова, А.В. Владимирский, А.Н. Мухортова [и др.] // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024. – № 3. – С. 598–614.

ционалов СЭБ в аналитический вид. В итоге (рисунок 1) дискретные информационные массивы функционалов СЭБ обретают *квазианалитический* вид.

Для наглядности дискретные информационные массивы функционалов СЭБ в 2-мерном измерении (плоскости) представим каноническими полиномами степеней η , κ , ν (формулы (3)–(5)).

$$P_{\eta}^C(x) = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + \dots + a_{\eta-1}x^{\eta-1} + a_{\eta}x^{\eta}, \quad (3)$$

$$P_{\kappa}^{\exists}(Z) = b_0 + b_1z^1 + b_2z^2 + \dots + b_{\kappa-1}z^{\kappa-1} + b_{\kappa}z^{\kappa}, \quad (4)$$

$$P_{\nu}^B(Y) = c_0 + c_1y^1 + c_2y^2 + \dots + c_{\nu-1}y^{\nu-1} + c_{\nu}y^{\nu}, \quad (5)$$

где $a_0 > 0$, $a_{\eta} \neq 0$; $b_0 > 0$, $b_{\kappa} \neq 0$; $c_0 > 0$, $c_{\nu} \neq 0$.

Полученные аналитические представления (3, 4, 5) информационных множеств образа $F(\text{СЭБ})$ открывают путь исследования их свойств математическим анализом, в частности (рисунок 2), определение экстремальных значений. И именно это аналитическое представление предоставляет уникальную возможность реализовать цель настоящего исследования по *поиску основ научно-методического подхода оценки устойчивости природного феномена СЭБ*.

Оценка устойчивости СЭБ с элементами адаптации определяет состоятельность системы при критических возмущениях. Постулирование непрерывности времени в исследуемом функционале $F(\text{СЭБ})$ исключает исследование³² его устойчивости по Шуру и ограничивается исследованием [9] устойчивости канонических полиномов (3, 4, 5) по Гурвицу³³. Поскольку полиномы (3, 4, 5) определены полиномами Гурвица, то необходимое и достаточное условие (теорема Гурвица) устойчивости полиномов – положительность главных диагональных миноров квадратной матрицы Гурвица.

Из чего вытекает искомое условие устойчивости полиномов, представляющих природный феномен СЭБ в области Θ . В результате (рисунок 2) искомое условие устойчивости полиномов определяется:

1. Главные диагональные миноры матрицы Гурвица для полинома $P_{\eta}^C(x)$ (формула 6):

$$\Delta_1 = a_{\eta} > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_0 \\ \alpha_3 & \alpha_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_{\eta} = a_{\eta} \Delta_{\eta-1} > 0. \quad (6)$$

2. Главные диагональные миноры матрицы Гурвица для полинома $P_{\kappa}^{\exists}(Z)$ (формула 7):

$$\Delta_1 = b_{\kappa} > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} b_1 & b_0 \\ b_3 & b_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_{\kappa} = a_{\kappa} \Delta_{\kappa-1} > 0. \quad (7)$$

3. Главные диагональные миноры матрицы Гурвица для полинома $P_{\nu}^B(Y)$ (формула 8):

$$\Delta_1 = c_{\nu} > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} c_1 & c_0 \\ c_3 & c_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_{\nu} = a_{\nu} \Delta_{\nu-1} > 0. \quad (8)$$

Следует отметить, что уменьшение числа проверок детерминантных неравенств возможно³⁴ посредством теоремы Лъенара – Шипара и некоторыми иными способами.

Таким образом, в результате относительно несложных преобразований информационного массива числовых данных СЭБ, поддерживаемых обширным программным обеспечением, удалось оценить глобальную устойчивость природного феномена СЭБ. Строго говоря, найденные основы научно-методического подхода оценки устойчивости природного феномена СЭБ определяют его *квазиустойчивость*.

Предоставляемая оценка глобальной устойчивости природного феномена СЭБ раскрывает потенциал определения его антропогенной управляемости (адаптации). Открывается возможность генерации адекватных природной самоорганизации управляющих антропогенных воздействий, не нарушающих устойчивость СЭБ.

³² Постников М.М. Устойчивые многочлены. – Москва: Наука, 1981. – 176 с. – С. 113.

³³ Алгоритм определения устойчивости полинома (многочлена) Гурвица описывает теорема Рауса – Гурвица и реализуется в тестах Рауса – Гурвица и Лъенара – Шипара.

³⁴ Постников М.М. Устойчивые многочлены. – Москва: Наука, 1981. – 176 с. – С. 96.

Заключение

Состоятельность имманентного восприятия природных феноменов актуализирует *оценку их устойчивости*. Однако многоаспектность и многопараметричность природных феноменов «проклятием размерности» сводит к абсурду попытки исследования их устойчивости. Цифровизация же всех аспектов природных феноменов стремительно формирует их информационные числовые многомерные массивы.

Эти предпосылки легли в основу научно-методического подхода оценки устойчивости природных феноменов, поддерживаемого обширным программным обеспечением:

1. Информационные числовые многомерные массивы природных феноменов, образуя многомерные информационные пространства, формализуются векторным пространством признаков в виде геометрических образов.

2. Проецирование геометрических образов в пространства меньшей размерности позволяет интерполировать и/или аппроксимировать числовые массивы образов в аналитический вид.

3. Полученные аналитические представления образов позволяют реализовать традиционные исследования их свойств и оценить их устойчивость.

В рамках настоящего научно-методического подхода оценена устойчивость многомерного пространства СЭБ, формализуемого 3 функционалами. После формализации многомерных числовых массивов СЭБ размерность их геометрических образов понижена до 2. Аналитический вид геометрических образов дал уникальную возможность оценить глобальную устойчивость природного феномена СЭБ.

Аналитический вид геометрических образов СЭБ формализован каноническими полиномами различных степеней. Постулирование непрерывности времени обуславливает необходимое и достаточное условие глобальной устойчивости канонических полиномов по Гурвицу. В результате искомое условие устойчивости полиномов определено главными диагональными минорами квадратной матрицы Гурвица.

Полученная оценка глобальной устойчивости природного феномена СЭБ по Гурвицу раскрывает *потенциал антропогенной управляемости (адаптации) СЭБ*.

Поскольку информация о действительности моделируется в конечном итоге многомерными информационными массивами (числовых данных), логично расширить основы настоящего научно-методического подхода оценки устойчивости на дискретно определённые функционалы. В конечном итоге вытекает *математическая задача не просто устойчивости полинома, но и множества*.

Выражаю искреннюю признательность за конструктивные замечания по настоящему исследованию д.э.н. И.А. Зуевой (МУИВ), д.т.н. М.Я. Парфеновой, (МУИВ), д.б.н. А.В. Смурову (МГУ), полковнику В.А. Рамазанову (МО).

Список литературы

1. Шаповалов А.Б. Антропогенные стратегии управления адаптацией социума и его экономических систем // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2024. – № 1 (48). – С. 67–76.
2. Шаповалов А.Б. Стратегия управления адаптацией социально-экономической биосистемы на основе циркулярной экономики // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2024. – № 3 (50). – С. 44–54.
3. Бахтизин А.Р. Развитие методов компьютерного моделирования социально-экономических процессов // Многомерный статистический анализ реальных процессов: тезисы конференции. Часть 1: Пленарные доклады. Статистический анализ и эконометрика / под ред. В.Л. Макарова. – Москва: ЦЭМИ РАН, 2024. – С. 5–11.
4. Козлов С.В. Структурный функционализм Т. Парсонса о механизмах легитимации нормативного порядка общества // Социально-политические процессы в меняющемся мире: межвузовский сбор-

ник научных трудов / Министерство науки и высшего образования РФ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», Институт экономики и управления, кафедра политологии; Тверское региональное отделение Российской ассоциации политической науки. – Тверь: Тверской государственный университет, 2021. – Вып. 21. – С. 48–53.

5. *Василенко Л.А., Мещерякова Н.Н.* Социология цифрового общества: монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 226 с.

6. *Леонова О.В.* Цифровизация социально-экономической политики: возможности и риски в современной России // Среднерусский вестник общественных наук. – 2024. – Т. 19, № 6. – С. 35–71.

7. *Мурашко М.А., Ваньков В.В., Панин А.И., Артемова О.Р., Матвиенко А.В., Гусев А.В., Васильев Ю.А., Владзимирский А.В.* Внедрение технологий искусственного интеллекта в здравоохранении России: итоги 2024 г. // Национальное здравоохранение. – 2025. – № 6 (3). – С. 6–19.

8. *Дударов С.П., Папаев П.Л., Маркин И.С.* Интерполирование одномерных и многомерных нелинейных зависимостей искусственными нейронными сетями радиально-базисных функций // Современные наукоёмкие технологии. – 2023. – № 2. – С. 45–52.

9. *Самойленко А.Д.* Методы оценки устойчивости систем на основе критерия Гурвица с программной реализацией // Вестник науки. – 2025. – № 7 (88), т. 3. – С. 413–417.

References

1. *Shapovalov A.B.* Antropogennye strategii upravleniya adaptaciej sociuma i ego ekonomicheskikh sistem // Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2024. – № 1 (48). – S. 67–76.

2. *Shapovalov A.B.* Strategiya upravleniya adaptaciej social'no-ekonomicheskoy biosistemy na osnove cirkulyarnoy ekonomiki // Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie. – 2024. – № 3 (50). – S. 44–54.

3. *Bahtizin A.R.* Razvitie metodov komp'yuternogo modelirovaniya social'no-ekonomicheskikh processov // Mnogomernyj statisticheskij analiz real'nyh processov: tezisy konferencii. Chast' 1: Plenarnye doklady. Statisticheskij analiz i ekonometrika / pod red. V.L. Makarova. – Moskva: CEMI RAN, 2024. – S. 5–11.

4. *Kozlov S.V.* Strukturnyj funkcionalizm T. Parsonsa o mekhanizmah legitimacii normativnogo poryadka obshchestva // Social'no-politicheskie processy v menyayushchemsya mire: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF; Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Tverskoj gosudarstvennyj universitet», Institut ekonomiki i upravleniya, kafedra politologii; Tverskoe regional'noe otdelenie Rossijskoj associacii politicheskoy nauki. – Tver': Tverskoj gosudarstvennyj universitet, 2021. – Vyp. 21. – S. 48–53.

5. *Vasilenko L.A., Meshcheryakova N.N.* Sociologiya cifrovogo obshchestva: monografiya. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2021. – 226 с.

6. *Leonova O.V.* Cifrovizaciya social'no-ekonomicheskoy politiki: vozmozhnosti i riski v sovremennoj Rossii // Srednerusskij vestnik obshchestvennyh nauk. – 2024. – Т. 19, № 6. – С. 35–71.

7. *Murashko M.A., Van'kov V.V., Panin A.I., Artemova O.R., Matvienko A.V., Gusev A.V., Vasil'ev Yu.A., Vladzimirskij A.V.* Vnedrenie tekhnologij iskusstvennogo intellekta v zdavoohranenii Rossii: itogi 2024 g. // Nacional'noe zdavoohranenie. – 2025. – № 6 (3). – С. 6–19.

8. *Dudarov S.P., Papaev P.L., Markin I.S.* Interpolirovanie odnomernyh i mnogomernyh nelinejnyh zavisimostej iskusstvennymi nejronnymi setyami radial'no-bazisnyh funkcij // Sovremennye naukoymkie tekhnologii. – 2023. – № 2. – С. 45–52.

9. *Samojlenko A.D.* Metody ocenki ustojchivosti sistem na osnove kriteriya Gurvica s programmnoj realizaciej // Vestnik nauki. – 2025. – № 7 (88), т. 3. – С. 413–417.

Статья поступила в редакцию: 15.10.2025

Received: 15.10.2025

Статья принята к публикации: 10.01.2026

Accepted: 10.01.2026