

Проблемы искусственного интеллекта. 2026. N 1 (40). С. 124-136

Problems of Artificial Intelligence. 2026;1(40):124-136.

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
Научная статья

УДК 510.52:303.732.4:519.25

doi: 10.24412/2413-7383-2026-1-40-124-136

Г. В. Аверин, А. В. Звягинцева, А. Р. Бражников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донецкий государственный университет»
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24

ВЕКТОРНЫЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ПРИ СРАВНЕНИИ ОБЪЕКТОВ ПО СОВОКУПНОСТИ ПАРАМЕТРОВ

G.V. Averin, A.V. Zviagintseva, A.R. Brazhnikov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk State University"
283001, Donetsk, University str, 24

VECTOR AND STATISTICAL CRITERIA OF RELATIVE COMPLEXITY WHEN COMPARING OBJECTS BY A SET OF PARAMETERS

В статье обосновывается подход к оценке относительной сложности, основанный на представлении моделей систем в многомерных пространствах состояний. Эмпирической базой исследований являются массивы данных и датасеты в области биологии и искусственного интеллекта. В качестве примера осуществлен анализ сложности позвоночных животных в сравнении с человеком, как наиболее развитым организмом. Предложены критерии для оценки относительной сложности состояний объектов по отношению к состоянию объекта, принятого в качестве эталона. Сложность для различных классов (групп) объектов оценивается по статистическим распределениям анализируемых и эталонных групп.

Ключевые слова: относительная сложность, многомерные системы, вероятностные и статистические критерии сложности, комплексные измерения и оценка.

This article substantiates an approach to assessing relative complexity based on representing system models in multidimensional state spaces. The empirical basis for this research is datasets and datasets in biology and artificial intelligence. As an example, the complexity of vertebrates is analyzed in comparison with humans, the most highly developed organism. Criteria are proposed for assessing the relative complexity of object states relative to the state of an object adopted as a standard. Complexity for different classes (groups) of objects is estimated based on the statistical distributions of the analyzed and standard groups.

Keywords: relative complexity, multidimensional systems, probabilistic and statistical complexity criteria, integrated measurements and assessment.

Введение

Изучение системы как единого целого, вне зависимости от ее природы, неразрывно связано с категориями простоты и сложности [1], [2]. Поскольку системный анализ базируется на эмпирическом фундаменте, перед исследователем встает методологическая проблема: как перевести имеющиеся наблюдаемые данные о параметрах такой системы в количественную меру сложности изучаемого объекта?

В контексте биологии эта задача обретает особую глубину, требуя выяснить, коррелирует ли рост сложности с появлением принципиально новых свойств – таких как иерархия уровней организации живого, феномен сознания или этапы развития личности. Если исходить из когнитивных способностей, задача состоит в выявлении того, связано ли усложнение морфофизиологической организации с возникновением эмерджентных свойств – таких как способность к обучению и памяти, появление целенаправленного поведения у высших животных или формирование абстрактного мышления в процессе эволюции нервной системы. Важным в исследованиях является то, насколько увеличение структурно-функциональной сложности биосистемы сопряжено с переходом на качественно новые уровни организации живого – например, от молекулярно-генетического уровня к клеточному, от тканевого к организменному или от популяционного к биоценоотическому.

Если же сформулировать задачу применительно к моделям искусственного интеллекта (AI), то в рамках исследований требуется выяснить, сопровождается ли рост сложности модели появлением принципиально новых когнитивных феноменов – таких как иерархия уровней абстракции, признаки зарождения «искусственного сознания» или этапы развития автономности в решении задач. В данном случае развитие эмерджентности и когнитивных способностей связано с ответом на вопрос, как усложнение архитектуры нейросетей [3], [4] и рост числа параметров влияет на возникновение новых свойств – таких как способность к абстрактному мышлению, появление «внутреннего монолога» у больших языковых моделей или формирование модели мира без прямого обучения [5], [6]. При системном анализе проблемы важным является процесс влияния увеличения вычислительной сложности системы на переход к качественно новым уровням функционирования – например, от простого распознавания паттернов к символическому мышлению, от реактивности к целеполаганию или от узкого (AI) к искусственному общему интеллекту (AGI).

Целью данной работы является обоснование векторных и статистических критериев сложности систем применительно к многомерным пространствам их состояний, которые позволят сравнивать между собой объекты по отношению к особо выделенным эталонным состояниям, принятым по соглашению.

Задача исследования, вытекающая из поставленной цели, заключается в проверке гипотезы о том, что критерии сложности систем определяются геометрией пространства состояний и статистикой событий [7–11]. Методология основана на построении многомерных пространств состояний для реальных и модельных объектов, организованных по параметрам свойств с использованием эмпирических данных. В контексте биологии и искусственного интеллекта предполагается, что анализ относительной сложности может быть выполнен с помощью геометрических и статистических мер, характеризующих состояния систем в указанных пространствах.

Материалы исследования, используемые модели и методы

Материалами исследований послужили открытые БД, датасеты, данные веб-платформ, на которых публикуются наборы и массивы данных, библиотеки различной информации и т.д. Например, для биологических организмов (позвоночных животных) используются их основные свойства – вес, продолжительность жизни, метаболизм, вес мозга и т.д. Для объектов искусственного интеллекта – это могут быть значения параметров количественных свойств – размер модели (параметры), объем данных (токены), производительность (MMLU), эффективность, специализация и т.д. Структурированный перечень источников данных приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень источников данных

Название БД	Описание данных	Охват (виды/записи)	Источник
Биологические организмы			
FmrBT	Полевой метаболизм (FMR) животных в среде обитания. Содержит данные по энергозатратам, массе тела и температуре среды.	Более 700 видов, 4567 записей	[12, 13]
Hudson et al. (2013)	Индивидуальные полевые метаболические данные для птиц и млекопитающих.	133 вида, 1498 особей	[14]
Clarke & Johnston (2025)	Компиляция данных по стандартному и базальному метаболизму (SMR/BMR), массе тела и температуре для широкого круга позвоночных и беспозвоночных.	Широкий охват (позвоночные и беспозвоночные)	[15, 16]
AnAge	База данных по позвоночным животным. Содержит массив данных по метаболизму, массе тела, росту, продолжительности жизни и т.д.	Более 4500 видов позвоночных животных	[17]
Модели искусственного интеллекта			
HELM	Holistic Evaluation of Language Models. Содержит модели AI, наборы данных и бенчмарки в стандартизированном формате, метрики для измерения и т.д.	Тысячи результатов по множеству бенчмарков	[18]
Open LLM Leaderboard	Открытая платформа для сравнительного тестирования. Данные по всем доступным моделям.	Данные почти по 200 моделям AI	[19]
API-провайдеров	Документация к API, технические спецификации, качественные и количественные характеристики.	OpenAI, Anthropic, Mistral, Google, DeepSeek и т.д.	[20]

В данной статье обоснование векторных и статистических критериев сложности систем представлено на примере комплексной оценки сложности биологических видов по трем показателям. С этой целью был сформирован структурированный массив значений параметров 546 видов позвоночных животных. Используются основные свойства биологических организмов – вес, продолжительность жизни, метаболизм, скорость роста, вес мозга, критерии организованности и т.д., в общей сложности порядка 10 параметров. Предлагаемый подход применим к различным видам сложных систем при условии представления информации о них в структурированной форме.

Используемые в работе представления, методы и модели могут быть изложены в следующем виде. Предположим, что совокупность объектов одного класса может быть описана в фиксированный момент времени через оценку значений параметров свойств каждого наблюдаемого объекта относительно соответствующих величин, зафиксированных у опорного объекта. В этом случае относительная сложность понимается как стационарная мера системного сравнения состояний объектов.

По аналогии изменчивость будем оценивать путем сравнения процессов изменения состояний с эталонным процессом, свойственным опорному объекту. Для определенного диапазона времени относительная сложность будет пониматься как динамическая мера системного сравнения состояний объектов.

В свою очередь, оценка сложности группы объектов должна проводиться относительно всей совокупности изучаемых объектов посредством сравнения их основных характеристик с аналогичными характеристиками некоторого эталонного класса объектов [21], [22]. В качестве эталонного класса может быть принят простой класс объектов, когда в процессах изменения значений параметров формируются независимые и равновозможные состояния.

В каждом из перечисленных случаев необходимо использовать измерительные шкалы для определения как отдельных свойств объектов, так и их комплексов. Критериями сложности могут выступать геометрические меры сходства состояний, процессов или классов [8–11] или критерии сравнения статистических распределений, найденных для каждой из двух групп объектов [7].

Исходя из вышеизложенного, под сложной макросистемой будем понимать множество однотипных объектов, характеризующихся общими свойствами и признаками. Каждый экземпляр данного класса наделен единым набором свойств, описываемых через соответствующие параметры. Под состоянием объекта понимается совокупность текущих значений параметров. Вероятность состояния объекта трактуется как вероятность совместных событий наблюдения конкретных значений нескольких параметров свойств. Из данных представлений следует, что можно сформировать многомерное пространство состояний E^n относительно совокупности параметров свойств z , где $z=(z_1, z_2, \dots, z_n)$ $z \in E^n$. Массивы эмпирических данных будут отображаться в данном пространстве дискретными точками.

В процессе выполнения работ применялись методы обработки, анализа и феноменологического описания многомерных эмпирических данных по отношению к системам различной природы [7], [8].

Критерии относительной сложности

В качестве примера оценка сложности проводилась для трехмерного пространства состояний позвоночных животных относительно их основных параметров – вес m , максимальная продолжительность жизни τ и удельный метаболизм q [17]. Для относительного сравнения за опорный объект примем биологическое состояние человека (точка M_0), как наиболее сложного объекта, биологические показатели которого равны: $q=1,334$ Вт/кг; $m=62,035$ кг; $\tau=122,0$ лет.

Векторные критерии относительной сложности.

Сформируем опорный вектор \vec{F}_0 , определяющий положение опорного объекта в пространстве E^n . Начало вектора соответствует нулевым значениям параметров: $m=0$, $\tau=0$ и $q=0$, конец вектора определен точкой M_0 . По этим значениям находится модуль вектора $|\vec{F}_0|$. Далее для каждого i -того объекта формируется свой вектор состояния \vec{F}_i . Начало вектора также соответствует нулевым значениям параметров: $m=0$, $\tau=0$ и $q=0$, конец вектора будет задан точкой M_i при наблюдаемых значениях параметров. По этим данным находится модуль вектора $|\vec{F}_i|$.

Для сравнения векторов между собой и с опорным вектором используем четыре критерия. Первый критерий характеризует отношение длин векторов:

$$Kr_1 = \frac{|\vec{F}_i|}{|\vec{F}_0|}. \quad (1)$$

Так как вектор \vec{F}_i характеризуется не только длиной, но и направлением в пространстве состояний E^n , то вторым критерием может быть угол между векторами:

$$Kr_2 = \cos \varphi = \frac{|\vec{F}_i \cdot \vec{F}_0|}{|\vec{F}_i| |\vec{F}_0|}. \quad (2)$$

Чем меньше угол φ тем больше направление вектора анализируемого объекта соответствует направлению вектора опорного объекта, который принят в качестве наиболее сложного объекта.

Третий критерий для комплексной оценки дает сравнение значений проекции многомерного вектора \vec{F}_i на опорный вектор \vec{F}_0 и последующую попарную оценку состояний объектов между собой:

$$Kr_3 = \frac{|\vec{F}_i| \cos \varphi}{|\vec{F}_0|}. \quad (3)$$

Четвертым критерием может выступать величина, которая сравнивает объемы двух параллелепипедов (относительный объем), для которых вектор \vec{F}_i и опорный вектор \vec{F}_0 являются пространственными диагоналями:

$$Kr_4 = \frac{m_i \tau_i q_i}{m_0 \tau_0 q_0}, \quad (4)$$

где m_i, τ_i, q_i – координаты i -того вектора, m_0, τ_0, q_0 – координаты опорного вектора.

В связи с тем, что показатели объектов обычно имеют различную размерность, анализ проводился по безразмерным значениям параметров: $\xi_k = \frac{z_k}{z_{k0}}$, где z_{k0} – значения параметров принятого опорного объекта при оценке сложности.

Статистические критерии относительной сложности.

Статистические критерии позволяют сравнивать состояния объектов между собой по значениям вероятности характерных событий или распределениям группы однородных событий. Статистическая вероятность совместного события наблюдения значений параметров для каждого объекта оценивается путем непосредственного подсчета относительных частот событий относительно всей группы объектов в целом. Эта вероятность является мерой сходства между состояниями объектов и позволяет попарно сравнивать состояния объектов или оценивать их положение относительно опорного объекта. Сравнение состояний объектов в пространстве E^n осуществляется по значениям вероятностей совместных событий или путем их преобразования в логарифмические вероятности или пробит-вероятности.

Для оценки состояний между собой и с состоянием опорного объекта будем использовать статистический критерий:

$$Kr_5 = w_i / w_0, \quad (5)$$

где w_i, w_0 – вероятность состояния i -того и опорного объекта соответственно.

Оценка сложности состояний группы объектов проводится путем сравнения их распределения с распределением состояний эталонного (идеального) класса объектов. Такой класс отличается равномерными распределениями совместных событий и обладает простыми статистическими закономерностями. Распределения вероятностей состояний в этом случае определяются размерностью пространства состояний и диапазонами изменения значений параметров.

Исходя из этого, будем использовать идеальные классы в качестве эталонов при сопоставлении различных классов объектов по критерию их сложности. Для каждой совокупности реальных объектов формируется соответствующий эталонный класс объектов той же размерности, учитывающий наблюдаемые интервалы варьирования параметров состояния и их общее количество. С этой целью берутся две однородные группы объектов, идентичные по числу экземпляров и набору исследуемых параметров свойств. Первая группа составляется из реальных объектов, вторая – из соответствующих модельных объектов, характеризующихся равновероятными состояниями. В последнем случае в пространствах состояний формируются независимые и равновероятные состояния, присущие модельной группе объектов. Для реализации этого подхода применяются генераторы случайных чисел с равномерным распределением, которые формируют значения параметров состояния в пределах диапазонов, зафиксированных для реальных объектов.

Распределения вероятностей состояний объектов находились с помощью логарифмической регрессии:

$$\ln w = a_0 + \text{suma}; \quad \text{suma} = a_1 \ln \frac{m}{m_0} + a_2 \ln \frac{q}{q_0} + a_n \ln \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (5)$$

где w – вероятность состояния объекта.

Данный метод широко применяется при оценке опасностей и рисков. Получаемые статистические распределения являются нелинейными и представляют вероятностные закономерности для многих процессов в природе и обществе.

Макросы для подсчета вероятностей совместных событий приведены в работах [7], [8]. Обработка, анализ данных и оценка критериев сложности выполнены с помощью программы «Statistica 13» (StatSoft Inc.).

Результаты исследования

Оценка состояний объектов в пространстве E^n проводилась с использованием предложенных критериев $Kr_1 \div Kr_5$, а также статистических распределений совместных событий. По результатам проведенных расчетов выполнен анализ применимости данных критериев при оценке сложности. Результаты расчетов для некоторых животных приведены в таблице 2.

Критерий Kr_1 определяет, насколько длина вектора i -того объекта отличается от длины вектора опорного объекта. Если значение Kr_1 больше единицы, то объект потребляет большее значение удельной энергии, отнесенное к единице веса, чем человек, если меньше – то меньшее значение. Из анализируемых 545 объектов 149 объектов имели значение критерия Kr_1 меньше единицы, а 396 – больше единицы.

Критерий Kr_2 характеризует направление ориентации вектора состояния объекта в многомерном пространстве состояний. Если значение Kr_2 приближается к единице, то вектор состояния объекта совпадает по направлению с вектором опорного объекта. В данном случае, все объекты имели значение критерия $Kr_2 < 1$.

Критерий Kr_3 показывает, какая доля вектора i -того объекта с учетом его направления в пространстве состояний E^n проецируется на вектор опорного объекта. Если значение данного критерия больше единицы, то доля вектора i -того объекта превосходит опорный вектор, если меньше – то нет. Объекты в количестве 230 единиц имели значение $Kr_3 < 1$, для остальных 315 объектов значение $Kr_3 > 1$.

Критерий Kr_4 определяет, насколько в течении всей жизни количество энергии, потребляемой i -тым объектом отличается от количества энергии, потребляемой опорным объектом. Из анализируемых 545 объектов все объекты имели значение критерия Kr_3 меньше единицы.

Критерий Kr_5 определяет относительную вероятность состояния i -того объекта в пространстве E^n , для 481 объекта $Kr_5 < 1$, а для 64 объектов $Kr_5 > 1$.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика животных по трем биологическим параметрам относительно человека

Биологические объекты	Критерии оценки состояния				
	Kr_1	Kr_2	Kr_3	Kr_4	Kr_5
Опорный вектор: Человек	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Западная чайка (<i>occidentalis</i>)	1,6041	0,6351	1,0188	0,01149	1,3099
Индийский питон (<i>molurus</i>)	0,2030	0,9119	0,1851	0,00427	0,0563
Жаворонок (<i>arvensis</i>)	8,3304	0,5807	4,8372	0,00072	1,1408
Ястреб (<i>nisus</i>)	1,7362	0,6089	1,0571	0,00190	0,5493
Кукушка (<i>canorus</i>)	3,2524	0,5882	1,9131	0,00107	0,7606
Беркут (<i>chrysaetos</i>)	0,5057	0,8231	0,4162	0,02363	0,4225
Лама (<i>glama</i>)	1,3886	0,7898	1,0967	0,42447	0,5493
Тигр (<i>tigris</i>)	1,2209	0,8143	0,9941	0,34717	0,5070
Олень (<i>virginianus</i>)	1,0219	0,8656	0,8845	0,27999	0,5775
Кабан (<i>scrofa</i>)	1,2650	0,7685	0,9721	0,27731	0,4366
Кролик (<i>cuniculus</i>)	1,7781	0,5964	1,0604	0,00656	0,6197
Заяц (<i>timidus</i>)	0,8799	0,6553	0,5766	0,01499	0,5211
Шиншилла (<i>lanigera</i>)	0,8859	0,6316	0,5596	0,00222	0,2394
Лисица (<i>vulpes</i>)	1,4419	0,6313	0,9103	0,02884	1,2676
Хомяк (<i>auratus</i>)	2,8433	0,5813	1,6527	0,00027	0,0704
Домашняя мышь (<i>musculus</i>)	5,7197	0,5793	3,3132	0,00011	0,0423
Серая крыса (<i>norvegicus</i>)	2,0250	0,5832	1,1810	0,00053	0,0282
Полевка (<i>guentheri</i>)	3,7481	0,5802	2,1749	0,00017	0,0704

Таким образом, если считать, что в данной группе объектов человек является наиболее сложным объектом, то для оценки относительной сложности в группе наиболее приемлемы критерии Kr_2 и Kr_4 .

Система предложенных критериев Kr_2 и Kr_4 позволяет провести для однородной группы комплексное исследование сложности при попарном сравнении состояний объектов между собой при условии выбора экспертным путем наиболее сложного объекта и представлении его в качестве эталона.

Проведем оценку сложности состояний всей группы анализируемых объектов по отношению к группе соответствующих модельных объектов, характеризующихся равновероятными состояниями, путем сравнения их распределения с распределением состояний эталонного (идеального) класса объектов.

Методом лог-регрессии обработаем информацию о позвоночных животных по параметрам веса m , продолжительности жизни τ и удельного метаболизма q . Вероятность состояния объекта определяем по совместным событиям наблюдения

значений параметров m , τ и q . Эмпирические распределения находим путем установления регрессионной зависимости вида (5). Данную процедуру повторяем для исходного анализируемого массива данных и группы модельных объектов, состояния которых образованы значениями параметров m , τ и q , сгенерированных генераторами случайных чисел.

В результате обработки данных установлены следующие статистические распределения:

- распределения совместных событий для исходной группы объектов:

$$\ln w = -0,189 + suma ; \quad suma = 0,297 \ln \frac{m}{m_0} + 1,114 \ln \frac{q}{q_0} + 1,335 \ln \frac{\tau}{\tau_0} ; \quad (6)$$

- распределения совместных событий для группы модельных объектов:

$$\ln w_m = -6,263 + suma ; \quad suma = 0,699 \ln \frac{m}{m_0} + 0,907 \ln \frac{q}{q_0} + 0,906 \ln \frac{\tau}{\tau_0} . \quad (7)$$

Коэффициент множественной корреляции зависимости (6) составил 0,91, а зависимости (7) – 0,97, соответствующие результаты в одной шкале представлены на рисунке 1. Как видно из зависимостей (6) – (7) и рисунка 1, в качестве критерия сложности при сравнении двух групп объектов по статистическим распределениям может быть использована разность коэффициентов a_0 в уравнениях $\ln w = a_0 + suma$. Для исходной группы объектов величина a_0 всегда выше, чем у группы модельных объектов. Это позволяет построить измерительную систему оценки сложности для различных классов объектов в одной общей шкале.

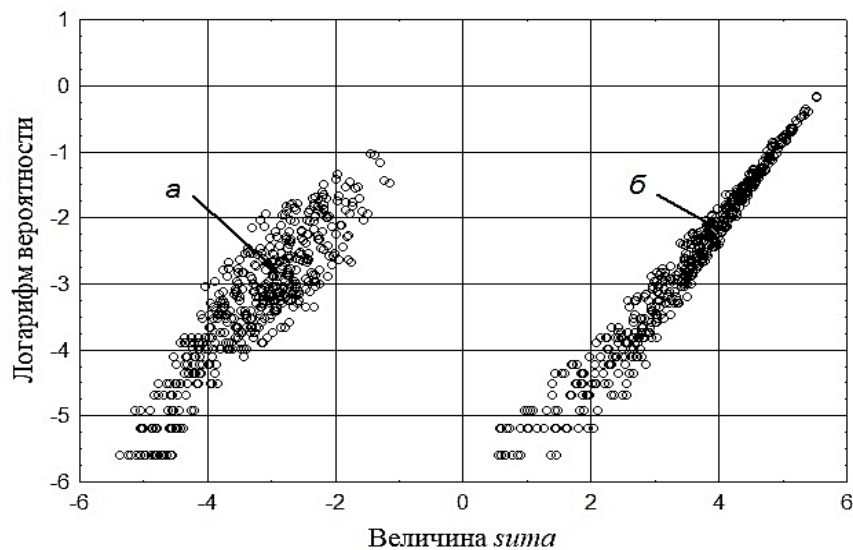


Рисунок 1 – Оценка групп объектов по уровню относительной сложности:

а) наблюдаемые состояния исходной группы объектов; б) равновозможные состояния для эталонной группы модельных объектов

Полученные результаты указывают на возможность построения критериев и измерительных шкал, позволяющих оценить относительную сложность того или иного объекта путем сравнения его состояния в многомерном пространстве параметров с состоянием объекта, принятого в качестве опорного. Аналогичным образом возможно построение системы измерений относительной сложности для различных классов (групп) объектов по отношению к группам объектов, которые принимаются в качестве эталонов. Тем самым может быть сделан вклад в современную теорию сложности за счет развития методов комплексных измерений.

В случае сбора актуальных данных и проведения аналогичных исследований для моделей искусственного интеллекта появляется возможность количественно сравнивать развитие и сложность двух принципиально разных классов систем – биологических и искусственных.

Заключение

В статье предложена методика оценки относительной сложности состояний объектов и систем по совокупности параметров. Оценка проводится в многомерных пространствах состояний объектов одного класса путем сравнения векторных и статистических величин, характеризующих наблюдаемый объект по отношению к аналогичным величинам, наблюдаемым у объекта, который условно принят за опорный. В качестве опорного объекта выступает наиболее сложный объект (объекты) в изучаемой группе, который определяется экспертным методом.

Новизна предложенного подхода заключается в использовании феноменологического моделирования при оценке сложности систем на основе эмпирических данных.

В рассматриваемом примере обоснованными векторными критериями относительной сложности в многомерном пространстве являются метрики: косинусное сходство состояний и относительный объем, определяемый векторами состояния. В этом случае геометрический смысл косинусного сходства состоит в попарном сравнении векторов состояния объектов в многомерном пространстве, физический смысл относительного объема заключается в сравнении потребления энергии животными в течение жизни по отношению к человеку. Относительная вероятность состояния объекта не может быть рекомендована в качестве статистического критерия сложности.

В случае сравнения групп объектов между собой относительная оценка сложности может проводиться на основе эмпирических распределений состояний объектов путем сравнения их с аналогичными характеристиками некоторой простой группы модельных объектов, принятой за эталон. Состояния модельных объектов являются независимыми и равновероятными. В качестве критерия сложности используются статистические меры сходства распределений, найденные для каждой из двух групп объектов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на аналогичную оценку сложности моделей искусственного интеллекта, что позволит количественно сравнивать эти модели между собой или соизмерять принципиально разные классы систем – например, биологические и искусственные. Для биологических систем интересно установление связи критериев сложности различных видов животных с их интеллектуальными свойствами и когнитивными способностями.

Список литературы

1. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor). Berlin: Springer, 2009. 10370 p.
2. Varley T.F. Information theory for complex systems scientists: What, why, and how // Physics Reports. 2025. Vol. 1148. P. 1–55. DOI 10.1016/j.physrep.2025.09.007.
3. Vakulenko S.A., Sudakow I. Noisy deep networks: chaos, multistationarity, and eternal evolution // Journal of Physics: Complexity. 2025. Vol. 6, No. 2. P. 025008. DOI 10.1088/2632-072X/adcd4.
4. Беловодский В.Н. Об интерполяции и аппроксимации функций с использованием нейронных сетей // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 3(34). С. 6–19.
5. Анцыферов С.С., Сигов А.С., Фазилова К.Н. Методология развития интеллектуальных систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2022. №2(25). С. 42–47.
6. Ермоленко Т.В., Ролик Д.В. Классификация аномалий сердцебиения с помощью глубокого обучения // Проблемы искусственного интеллекта. 2022. № 1(24). С. 40–53.

7. Аверин Г.В. Системодинамика: теория и приложения / Изд. 2-е перераб. и доп. Донецк: ООО «НПП «Фолиант», 2022. 535 с. ISBN 978-5-6047945-0-0. EDN LJDBFI.
8. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под науч. ред. Г.В. Аверина. М.: Изд. дом «Спектр», 2016. 257 с. ISBN 978-5-4442-0120-6.
9. Measurement of the Status of Complex Systems in Multidimensional Phase Spaces / Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. // An International Journal of Advanced Computer Technology. 2019. Vol. 8, No. 6. P. 3176–3181. EDN VFHTCW.
10. Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А. О проблеме измеримости состояний сложных систем // Мягкие измерения и вычисления. 2020. Т. 37, № 12. С. 18–30.
11. Method and criteria for assessing sustainable development / Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. // The Journal of Social Sciences Research. 2018, No. Special Issue 5. P. 181–187. – DOI 10.32861/jssr.spi5.181.187. EDN CRQEYU.
12. Human Ageing Genomic Resources: updates on key databases in ageing research / P. Magalhães, Z. Abidi, G. Santos [et al.] // Nucleic Acids Res. 2024. No. 52. P. 1083–1090. – DOI 10.1093/nar/gkad927.
13. Castro F. FmrBT: A comprehensive data set of field metabolic rates, body mass and ambient temperature // Scientific Data. 2025. Vol. 12, No. 1, 1589. DOI 10.1038/s41597-025-05868-y.
14. Hudson L.N., Isaac N.J., Reuman D.C. The relationship between body mass and field metabolic rate among individual birds and mammals // Journal of Animal Ecology. 2013. No. 82(5). P. 1009–1020. DOI 10.1111/1365-2656.12086.
15. Clarke A., Johnston N.M. (2025). A compilation of metabolic rate, body mass and body temperature (where available) data for a range of vertebrate and invertebrate species (Version 1.0) [Data set]. NERC EDS UK Polar Data Centre. URL: <https://doi.org/10.5285/8d9ffd4a-16c0-4d48-9fc9-02988676ef78> (дата обращения: 28.12.2025).
16. Clarke A. The Contribution of Metabolic Theory to Ecology // Ecological Monographs. 2025, Vol. 95, No. 3. P. e70030. DOI 10.1002/ecm.7003. EDN MKZXHP.
17. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. URL: <https://genomics.senescence.info/species/> (дата обращения: 20.12.2025).
18. Stanford University. Stanford Center for Research on Foundation Models. URL: <https://crfm.stanford.edu/report.html> (дата обращения: 28.12.2025).
19. Платформа SiliconFlow. URL: <https://cloud.siliconflow.com/me/models> (дата обращения: 28.12.2025).
20. Reusing Pre-Training Data at Test Time is a Compute Multiplier / A. Fang, T. Voice, R. Pang, L. Schmidt, T. Gunter [Электронный ресурс] // arXiv:2511.04234v1 [cs.CL] 6Nov 2025. URL: <https://arxiv.labs.arxiv.org/html/2511.04234> (дата обращения: 28.12.2025).
21. Mathematical modeling of collective behavior in socioeconomic and life sciences / ed. by G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani. Berlin: Springer, 2010. 438 p.
22. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / ed. by B. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie. Berlin: Wiley-VCH, 2006. 320 p. ISBN 978-3-527-40670-8. EDN XTPBEV.

References

1. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor). Berlin: Springer, 2009. 10370 p.
2. Varley T.F. Information theory for complex systems scientists: What, why, and how // Physics Reports. 2025. Vol. 1148. P. 1–55. DOI 10.1016/j.physrep.2025.09.007.
3. Vakulenko S.A., Sudakow I. Noisy deep networks: chaos, multistationarity, and eternal evolution // Journal of Physics: Complexity. 2025. Vol. 6, No. 2. P. 025008. DOI 10.1088/2632-072X/adsdb4.
4. Belovodskiy V.N. On interpolation and approximation of functions using neural networks // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 3(34). P. 6–19.
5. Ancyferov S.S., Sigov A.S., Fazilova K.N. Methodology of intelligent systems development // Problems of Artificial Intelligence. 2022. No. 2(25). P. 42–47.
6. Ermolenko T.V., Rolik D.V. Classification of heart abnormalities using deep learning // Problems of Artificial Intelligence. 2022. No. 1(24). P. 40–53.
7. Averin G.V. System dynamics: theory and applications / Izd. 2-е pererab. i dop. Donetsk: ООО “NPP “Foliant”, 2022. 535 p. ISBN 978-5-6047945-0-0. EDN LJDBFI.
8. Zviagintseva A.V. Probabilistic methods of a complex assessment of natural and anthropogenic systems / Pod nauch. red. G.V. Averina. Moscow: Izd. dom “Spektr”, 2016. 257 p. ISBN 978-5-4442-0120-6.
9. Measurement of the Status of Complex Systems in Multidimensional Phase Spaces / Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. // An International Journal of Advanced Computer Technology. 2019. Vol. 8, No. 6. P. 3176–3181. EDN VFHTCW.

10. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shvecova A.A. About the problem of the measurability states of complex systems // *Soft measurements and computing*. 2020. Vol. 37, No. 12. P. 18–30.
11. Method and criteria for assessing sustainable development / Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. // *The Journal of Social Sciences Research*. 2018, No. Special Issue 5. P. 181–187. DOI 10.32861/jssr.spi5.181.187. EDN CRQEYU.
12. Human Ageing Genomic Resources: updates on key databases in ageing research / P. Magalhães, Z. Abidi, G. Santos [et al.] // *Nucleic Acids Res.* 2024. No. 52. P. 1083–1090. DOI 10.1093/nar/gkad927.
13. Castro F. FmrBT: A comprehensive data set of field metabolic rates, body mass and ambient temperature // *Scientific Data*. 2025. Vol. 12, No. 1, 1589. DOI 10.1038/s41597-025-05868-y.
14. Hudson L.N., Isaac N.J., Reuman D.C. The relationship between body mass and field metabolic rate among individual birds and mammals // *Journal of Animal Ecology*. 2013. No. 82(5). P. 1009–1020. DOI 10.1111/1365-2656.12086.
15. Clarke A., Johnston N.M. (2025). A compilation of metabolic rate, body mass and body temperature (where available) data for a range of vertebrate and invertebrate species (Version 1.0) [Data set]. NERC EDS UK Polar Data Centre. URL: <https://doi.org/10.5285/8d9ffd4a-16c0-4d48-9fc9-02988676ef78> (data obrashcheniya: 28.12.2025).
16. Clarke A. The Contribution of Metabolic Theory to Ecology // *Ecological Monographs*. 2025, Vol. 95, No. 3. P. e70030. DOI 10.1002/ecm.7003. EDN MKZXHP.
17. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. URL: <https://genomics.senescence.info/species/> (data obrashcheniya: 20.12.2025).
18. Stanford University. Stanford Center for Research on Foundation Models. URL: <https://crfm.stanford.edu/report.html> (data obrashcheniya: 28.12.2025).
19. Platforma SiliconFlow. URL: <https://cloud.siliconflow.com/me/models> (data obrashcheniya: 28.12.2025).
20. Reusing Pre-Training Data at Test Time is a Compute Multiplier / A. Fang, T. Voice, R. Pang, L. Schmidt, T. Gunter [Elektronnyj resurs] // arXiv:2511.04234v1 [cs.CL] 6Nov 2025. URL: <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2511.04234> (data obrashcheniya: 28.12.2025).
21. Mathematical modeling of collective behavior in socioeconomic and life sciences / ed. by G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani. Berlin: Springer, 2010. 438 p.
22. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / ed. by B. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie. Berlin: Wiley-VCH, 2006. 320 p. ISBN 978-3-527-40670-8. EDN XTPBEV.

RESUME

G. V. Averin, A. V. Zviagintseva, A. R. Brazhnikov Vector and Statistical Criteria of Relative Complexity When Comparing Objects by a Set of Parameters

The study of a system as a whole, regardless of its nature, is associated with the categories of simplicity and complexity. Assessing complexity raises the question of how to translate available empirical data into a quantitative measure of the complexity of the object under study. In the context of biology, this task takes on particular depth, requiring an understanding of whether increasing complexity correlates with the emergence of fundamentally new properties. For artificial intelligence models, it is necessary to investigate how increasing model complexity is associated with the emergence of fundamentally new cognitive phenomena. The goal of this study is to substantiate system complexity criteria for multi-dimensional state spaces, which will enable comparisons of objects relative to reference states.

The research materials were based on open databases and Web platforms. For biological organisms, information from resources such as FmrBT, AnAge, etc. is used, while for artificial intelligence models, HELM, Open LLM Leaderboard, etc. are used. The justification of complexity criteria is presented using a comprehensive assessment of the complexity of biological species based on three indicators: weight, lifespan, and metabolism. The set of objects belonging to the same class is described using the evaluation of the parameter values of each object's properties relative to the corresponding values of the

reference object. The complexity of a group of objects is assessed relative to the entire set of objects under study by comparing their characteristics with those of a reference class of objects. The reference class is a simple class of objects for which independent and equally possible states are formed in the processes of changing parameter values.

Two vector criteria of relative complexity – cosine similarity of states and relative volume defined by state vectors – are substantiated for comparing the states of objects. The relative assessment of the complexity of groups was carried out on the basis of empirical distributions of the states of objects by comparing them with similar characteristics of a reference group of model objects. As a complexity criterion, a statistically measure is proposed in the form of a comparison of free terms of empirical distributions found for each of two groups of objects. For 545 species of animals, a comparative assessment of complexity by three biological parameters in relation to humans is carried out. The results indicate the possibility of constructing criteria and measurement scales that allow for the assessment of relative complexity when analyzing objects or homogeneous groups of objects. Further research is related to a similar assessment of the complexity of artificial intelligence models, which will allow for quantitative comparisons between models.

РЕЗЮМЕ

Г. В. Аверин, А. В. Звягинцева, А. Р. Бражников
Векторные и статистические критерии относительной сложности
при сравнении объектов по совокупности параметров

Изучение системы как целого, вне зависимости от ее природы, связано с категориями простоты и сложности. При оценке сложности встает проблема: как перевести имеющиеся эмпирические данные в количественную меру сложности изучаемого объекта? В контексте биологии эта задача обретает особую глубину, требуя выяснить, коррелирует ли рост сложности с появлением принципиально новых свойств. Применительно к моделям искусственного интеллекта необходимо исследовать, как рост сложности модели связан с появлением принципиально новых когнитивных феноменов. Цель работы – обоснование критериев сложности систем применительно к многомерным пространствам их состояний, которые позволят сравнивать между собой объекты по отношению к опорным состояниям.

Материалами исследований послужили открытые БД и Web-платформы. Для биологических организмов используется информация ресурсов FmrBT, AnAge и т.п., для моделей искусственного интеллекта – HELM, Open LLM Leaderboard и др. Обоснование критериев сложности представлено на примере комплексной оценки сложности биологических видов по трем показателям – вес, продолжительность жизни, метаболизм. Совокупность объектов, принадлежащих к одному классу, описана через оценку значений параметров свойств каждого объекта относительно соответствующих величин опорного объекта. Оценка сложности группы объектов выполнена относительно всей совокупности изучаемых объектов посредством сравнения их характеристик с аналогичными характеристиками эталонного класса объектов. В качестве эталонного класса принят простой класс объектов, для которых в процессах изменения значений параметров формируются независимые и равно-возможные состояния.

Для сравнения состояний объектов обоснованы два векторных критерия относительной сложности – косинусное сходство состояний и относительный объем, определяемый векторами состояния. Относительная оценка сложности групп проводилась

на основе эмпирических распределений состояний объектов путем сравнения их с аналогичными характеристиками эталонной группы модельных объектов. В качестве критерия сложности предложена статистически мера в виде сравнения свободных членов эмпирических распределений, найденных для каждой из двух групп объектов. Для 545 видов животных выполнена сравнительная оценка сложности по трем биологическим параметрам относительно человека. Результаты указывают на возможность построения критериев и измерительных шкал, позволяющих оценить относительную сложность при анализе объектов или их однородных групп.

Аверин Геннадий Викторович – д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерных технологий ФГБОУ ВО «ДонГУ», 283001, Донецк, ул. Университетская, 24, g.averin@donnu.ru. *Область научных интересов:* системный анализ и общая теория систем; интеллектуальный и статистический анализ многомерных и больших данных; информационно-аналитические системы и технологии в прикладных областях; междисциплинарные исследования в области системодинамики и теории сложности. ORCID 0000-0003-1070-3677

Звягинцева Анна Викторовна – д.т.н., доцент, профессор кафедры компьютерных технологий ФГБОУ ВО «ДонГУ», 283001, Донецк, ул. Университетская, 24, a.zvyagintseva@donnu.ru. *Область научных интересов:* системный анализ, событийная и комплексная оценка; безопасность и управление социально-экономическими и техногенными системами, социофизика; информационно-аналитические системы и технологии в прикладных областях; обработка и анализ многомерных и больших данных. ORCID 0000-0003-2218-9230

Бражников Андрей Романович – магистрант, ФГБОУ ВО «ДонГУ», 283001, Донецк, ул. Университетская, 24, телефон +7(949) 343-1659, yanox123321@gmail.com. *Область научных интересов:* методы анализа и обработки больших данных; проектирование и оптимизация архитектуры распределённых веб-систем; автоматизация процессов разработки и развёртывания программного обеспечения. ORCID 0009-0005-4420-9206

Averin Gennady Viktorovich – Dr. of Engineering, Professor, Professor of the Department of Computer Technologies, Donetsk State University, 24 Universitetskaya Street, 283001 Donetsk, g.averin@donnu.ru. Research interests: system analysis and general theory of systems; intelligent and statistical analysis of multidimensional and big data; information and analytical systems and technologies in applied fields; interdisciplinary research in the field of system dynamics and complexity theory. ORCID 0000-0003-1070-3677

Zviagintseva Anna Viktorovna – Dr. of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Computer Technologies, Donetsk State University, 24 Universitetskaya Street, Donetsk, 283001, a.zvyagintseva@donnu.ru. Research interests: system analysis, event-based and comprehensive assessment; security and management of socio-economic and technogenic systems, sociophysics; information and analytical systems and technologies in applied fields; processing and analysis of multidimensional and big data. ORCID 0000-0003-2218-9230

Brazhnikov Andrey Romanovich – Master's student, Donetsk State University, 283001, Donetsk, Universitetskaya str., 24, phone +7(949) 343-1659, yanox123321@gmail.com. Research interests: methods of analysis and processing of big data; design and optimization of architecture of distributed web systems; automation of software development and deployment processes. ORCID 0009-0005-4420-9206

Статья поступила в редакцию 23.12.2025