

УДК 004.8:330.4

UDC 004.8:330.4

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

**ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ И
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОГО
СИСТЕМНОГО ОБОБЩЕНИЯ ТЕОРИИ
МНОЖЕСТВ**

**DESCRIBING THE DYNAMICS AND
INTERACTION OF ECONOMIC SYSTEMS ON
THE BASIS OF A FUZZY SYSTEM
GENERALIZATION OF SET THEORY**

Луценко Евгений Вениаминович
Доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор
Web of Science ResearcherID S-8667-2018
Scopus Author ID: 57188763047
РИНЦ SPIN-код: 9523-7101
prof.lutsenko@gmail.com, <http://lc.kubagro.ru>
https://www.researchgate.net/profile/Eugene_Lutsenko
Кубанский Государственный Аграрный университет имени И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

Lutsenko Evgeny Veniaminovich
Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Professor
Web of Science ResearcherID S-8667-2018
Scopus Author ID: 57188763047
RSCI SPIN code: 9523-7101
prof.lutsenko@gmail.com, <http://lc.kubagro.ru>
https://www.researchgate.net/profile/Eugene_Lutsenko
Kuban State Agrarian University named after I.T.Trubilin, Krasnodar, Russia

В статье нечёткое системное обобщение теории множеств применяется как экономико-математический аппарат для описания финансовых и экономических систем, которые имеют иерархическое строение, а сведения о которых неполны и неточны. От обычных нечётких множеств предлагаемый аппарат отличается тем, что в нём вводятся уровни системы: на каждом следующем уровне сочетания элементарных экономических признаков образуют подсистемы, обладающие свойствами, которых нет у отдельных признаков. Формально определены нечёткий системный эффект и нормированный коэффициент системности K_s ; они измеряют не экономический рост сам по себе, а силу взаимодействия частей системы. Предложен способ разделения и оценки четырёх видов неопределённости: информационной, параметрической, структурной и вычислительной. Аппарат проверен на реальных данных Всемирного банка (World Development Indicators) по десяти странам за 2010–2023 годы. Пять показателей объединены в три подсистемы: реальная экономика, финансы и цифровая инфраструктура. После исключения наблюдений с пропусками осталось 138 полных наблюдений «страна–год». Среднее значение коэффициента системности составило 0.382, его ранговая корреляция с ростом ВВП равна -0.125 при 95%-ном интервале повторных выборок $[-0.294; 0.044]$, то есть устойчивой положительной связи не обнаружено. Это означает, что коэффициент системности отражает структурную связанность экономики и её способность к взаимодействию, тогда как годовой рост ВВП определяется в основном краткосрочными и циклическими факторами. Полученный результат подтверждает,

The study applies a fuzzy system generalization of set theory as an economic and mathematical tool for describing financial and economic systems that have a hierarchical structure and are known through incomplete and imprecise data. Unlike ordinary fuzzy sets, the proposed tool introduces system levels: at each higher level, combinations of elementary economic features form subsystems with properties that none of the individual features possess. The fuzzy system effect and the normalized systemicity coefficient K_s are defined formally; they measure the strength of interaction between the parts of a system rather than economic growth as such. A procedure is proposed for separating and estimating four kinds of uncertainty: informational, parametric, structural and computational. The tool is tested on real World Bank data (World Development Indicators) for ten countries over 2010–2023. Five indicators are combined into three subsystems: the real economy, finance and digital infrastructure. After observations with missing values are removed, 138 complete country–year observations remain. The mean value of the systemicity coefficient is 0.382 and its rank correlation with GDP growth is -0.125 with a 95% bootstrap interval of $[-0.294; 0.044]$, so no stable positive relationship is found. This means that the systemicity coefficient reflects the structural connectedness of an economy and its capacity for interaction, whereas annual GDP growth is determined mainly by short-term and cyclical factors. The result confirms that the proposed indicator supplements rather than replaces traditional macroeconomic indicators and can be used for the comparative diagnostics of economic systems, scenario calculations and decision support

что предложенный показатель дополняет, а не заменяет традиционные макроэкономические индикаторы, и может применяться для сравнительной диагностики экономических систем, сценарных расчётов и поддержки принятия решений

Ключевые слова: НЕЧЁТКОЕ СИСТЕМНОЕ ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ; ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; ФИНАНСОВАЯ СИСТЕМА; СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ; КОЭФФИЦИЕНТ СИСТЕМНОСТИ; НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ; РИСК МОДЕЛИ; ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ; WORLD DEVELOPMENT INDICATORS; РОСТ ВВП; ОБЪЕДИНЕНИЕ НЕЧЁТКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ; ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Keywords: FUZZY SYSTEM GENERALIZATION OF SET THEORY; ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING; FINANCIAL SYSTEM; SYSTEM EFFECT; SYSTEMICITY COEFFICIENT; UNCERTAINTY; MODEL RISK; ERROR ESTIMATION; WORLD DEVELOPMENT INDICATORS; GDP GROWTH; AGGREGATION OF FUZZY INDICATORS; DECISION SUPPORT

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-221-015>

1. Введение

Настоящая статья представляет собой сокращённый вариант работы [26]. Финансовые и экономические системы плохо описываются обычным перечнем независимых друг от друга наблюдений. Фирмы, банки, регионы, рынки и инфраструктура связаны отношениями собственности, кредита, производства, обмена информацией и общими правилами хозяйствования. Свойства такой системы не сводятся к сумме свойств входящих в неё элементов. Изменение условий кредитования одной фирмы отражается на её поставщиках, на занятости, на региональном спросе и на качестве кредитного портфеля банка, а сбой в одном звене логистической цепи способен перерасти в кризис целой отрасли. Обычные статистические показатели по-прежнему необходимы, но сами по себе они не дают языка, на котором можно записать, что объект принадлежит системе не полностью, а лишь в некоторой степени, и что у системы как целого появляются свойства, которых нет ни у одного из её элементов.

Теория нечётких множеств хорошо подходит для экономической информации, которая является не столько случайной, сколько неопределённой по самому своему смыслу [21–26]. Однако обычное нечёткое множество по существу одноуровневое: оно приписывает

элементу степень принадлежности, но ничего не говорит о том, как элементы объединяются в подсистемы более высокого порядка. Агентные и системные модели, наоборот, учитывают взаимодействие элементов и появление новых свойств, но требуют для этого отдельно задаваемых правил объединения, настройки и проверки [1, 2, 6, 13, 15]. В предлагаемом подходе обе эти возможности соединены: степень принадлежности задаётся так же, как в теории нечётких множеств, а иерархия уровней системы строится явно.

В работе решаются четыре задачи.

Во-первых, даётся компактное нечётко-системное представление финансовой и экономической системы.

Во-вторых, вводятся системный эффект, основанный на взаимодействии подсистем, и нормированный коэффициент системности.

В-третьих, предлагается порядок анализа рисков и оценки погрешностей, пригодный для практических расчётов.

В-четвёртых, метод проверяется не на искусственном примере, а на реальных макроэкономических данных. Расчётная часть выполнена намеренно осторожно: модель рассматривается как сравнительный структурный показатель и не выдаётся за инструмент причинного объяснения роста ВВП.

2. Состояние вопроса и место предлагаемого подхода

В последние годы в методологии экономических исследований всё чаще сочетают математическое моделирование, нечёткие методы принятия решений, эконометрику и вычислительный эксперимент. Ближе всего к теме статьи агентные модели: в них разнородные участники описываются по отдельности, а структура на уровне экономики в целом складывается из их взаимодействий [1]. В отечественной науке агентное моделирование также применяется для анализа и прогнозирования социально-экономических процессов [2, 3]. Нечёткие методы многокритериальной

оценки дают дополнительное средство работы с экспертными суждениями и неточно измеренными показателями в задачах регионального развития и оценки принимаемых мер [16]. Ценность их не в том, что они устраняют неопределённость, а в том, что позволяют учесть её явно, прямо в расчёте.

Особенно наглядно необходимость системного расширения видна в финансовой сфере. Кредитный, инфляционный и инвестиционный риски не являются независимыми свойствами отдельных объектов: они связаны через условия финансирования, ожидания участников и действующие правила. Нечёткие модели риска уже применялись к оценке вероятности дефолта банков, дисконтированию проектов, планированию поставок и ранжированию рисков [4, 5, 8, 9]. В других работах основное внимание уделено неопределённости самой модели и работе с информацией, не сводящейся к вероятностям, – теории свидетельств Демпстера–Шафера и интервальным оценкам [10, 11]. Общая для всех этих работ трудность состоит в том, что модель должна различать неопределённость исходных данных и эффект взаимодействия, возникающий в системе как целом.

Предлагаемый подход занимает промежуточное положение между нечёткими моделями принятия решений и вычислительной экономикой сложных систем. Он уже, чем полноценная теория финансовой устойчивости, и шире, чем отдельное правило подсчёта баллов. На выходе получается показатель с ясным смыслом, который можно пересчитать при других функциях принадлежности, других t-нормах, других весах и другом разбиении системы на подсистемы. Благодаря этому анализ чувствительности и оценка погрешности являются не дополнением к методу, а его составной частью.

3. Нечётко-системная модель экономической системы

Пусть элементарные экономические признаки заданы нечётким множеством $X = \{(x_i, \mu_i)\}$, где $\mu_i \in [0,1]$ – степень, в которой наблюдение отвечает соответствующему экономическому условию. В финансовых

приложениях x_i может означать прибыльность, ликвидность, интенсивность кредитования, зависимость от инфляции или доступность цифровой инфраструктуры. Существо предлагаемого расширения состоит во введении уровней. Нулевой уровень содержит элементарные признаки, первый – экономически осмысленные подсистемы, более высокие уровни – сочетания подсистем: уровень с номером $r \geq 2$ образуют сочетания из r подсистем.

$$\mu(C) = T(\mu(e_1), \mu(e_2), \dots, \mu(e_k)), \quad T: [0,1]^k \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Здесь C – составной элемент, $e_1, e_2, \dots, e_k$ – образующие его элементы, T – t-норма (при $k > 2$ – её k -местное расширение, однозначно определяемое свойством ассоциативности). В расчётах применяется мультипликативная t-норма (произведение), поскольку она отражает требование одновременной достаточности: высокое значение одного показателя не может полностью возместить низкое значение другого. Для проверки устойчивости результатов те же расчёты повторены с минимальной t-нормой. Нечёткий системный эффект определяется как та дополнительная масса принадлежности, которая появляется у сочетаний подсистем, то есть на втором и более высоких уровнях, сверх суммарной принадлежности самих подсистем:

$$E_s(S) = \sum_{r=2}^L \sum_{C \in \mathcal{C}_r} \mu(C) \quad (2)$$

Здесь $\mathcal{C}_r$ – множество составных элементов уровня r , L – номер высшего из учитываемых уровней, не превосходящий числа подсистем, а принадлежности $\mu(C)$ вычисляются по формуле (1). Для экономической системы S , состоящей из трёх подсистем – реальной экономики R , финансов F и цифровой инфраструктуры D с принадлежностями μ_R , μ_F и μ_D , – при $L = 3$ и мультипликативной t-норме системный эффект и коэффициент системности вычисляются следующим образом:

$$E_s = \mu_R \mu_F + \mu_R \mu_D + \mu_F \mu_D + \mu_R \mu_F \mu_D \quad (3)$$

$$K_s = \frac{E_s}{\mu_R + \mu_F + \mu_D + E_s} \quad (4)$$

При трёх подсистемах коэффициент K_s изменяется от нуля до $4/7 \approx 0.571$: наибольшее значение достигается при $\mu_R = \mu_F = \mu_D = 1$, когда $E_s = 4$ (при m подсистемах и учёте всех уровней верхняя граница равна $(2^m - m - 1)/(2^m - 1)$ и с ростом m приближается к единице); при $\mu_R = \mu_F = \mu_D = 0$ полагается $K_s = 0$. Он растёт тогда, когда подсистемы одновременно выражены и связаны между собой. Экономический смысл K_s – это способность частей системы взаимодействовать друг с другом. Высокое значение K_s говорит о том, что в рассматриваемой системе несколько подсистем достаточно развиты и усиливают друг друга, низкое – о том, что подсистемы развиты слабо либо слабо связаны в рамках выбранного описания. Индексом благосостояния, показателем производительности или вероятностью кризиса коэффициент K_s не является.

Модель допускает сравнительный анализ по принципу «что будет, если». Пусть проводимая политика улучшила цифровую связанность, а доступность финансовых услуг и показатели реальной экономики остались прежними. Тогда изменение K_s можно вычислить, не утверждая при этом, что ВВП обязан немедленно вырасти. Такое различие существенно при поддержке финансовых решений, где улучшения в строении системы обычно происходят раньше, чем становятся заметны в отчётных показателях.

4. Методика расчёта и исходные данные

Расчёт выполнен по базе World Development Indicators Всемирного банка [19]. В выборку вошли Бразилия, Китай, Германия, Индия, Индонезия, Мексика, Российская Федерация, ЮАР, Турция и США за 2010–2023 годы. Показатели годовые и взяты в тех единицах, в которых

они опубликованы: рост ВВП (% за год), инфляция потребительских цен (% за год), безработица (% рабочей силы), внутренний кредит частному сектору (% ВВП) и доля населения, пользующегося интернетом (%). Данные получены через программный интерфейс Всемирного банка 24 августа 2026 года. Источник открытый, поэтому расчёт полностью воспроизводим; коды показателей и точный вид запроса приведены в полном варианте работы [26].

Таблица 1. Состав финансово-экономической системы, принятый в расчёте.

Подсистема	Показатели	Желательное направление изменения
Реальная экономика	Рост ВВП; уровень безработицы	Рост ВВП – благоприятен; безработица – неблагоприятна
Финансовый контур	Кредитование частного сектора; инфляция	Кредитование – благоприятно; инфляция – неблагоприятна
Цифровая инфраструктура	Пользователи интернета	Большее проникновение интернета благоприятно

Пять показателей переведены в степени принадлежности линейной нормировкой по минимуму и максимуму выборки. Показатели, рост которых благоприятен, нормируются так, что большему значению соответствует большая принадлежность; для неблагоприятных показателей принадлежность инвертируется. Такая процедура делает показатели сопоставимыми, но одновременно ставит результат в зависимость от границ конкретной выборки. Поэтому нормировка здесь является рабочим приёмом сравнения, а не утверждением о том, какими должны быть «правильные» уровни экономических показателей.

$$\mu_i = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}; \quad \mu_i^- = 1 - \mu_i \quad (5)$$

$$\mu_R = (\mu_{\text{GDP}} \cdot \mu_U^-)^{1/2}; \quad \mu_F = (\mu_{\text{Credit}} \cdot \mu_{\text{Infl}}^-)^{1/2};$$

$$\mu_D = \mu_{\text{Internet}} \quad (6)$$

Здесь x_i – значение i -го показателя в данном наблюдении, $x_i^{\min}$ и $x_i^{\max}$ – наименьшее и наибольшее его значения в выборке ($x_i^{\max} > x_i^{\min}$), μ_i^- – инвертированная принадлежность, применяемая к неблагоприятным показателям; индексы GDP, U, Credit, Infl и Internet обозначают рост ВВП, безработицу, кредит частному сектору, инфляцию и долю пользователей интернета. Внутри подсистем реальной экономики и финансов применено среднее геометрическое: оно не позволяет одному благоприятному показателю замаскировать очень низкое значение другого. В отличие от операции (1) среднее геометрическое t-нормой не является: это усредняющая операция, которая сохраняет масштаб шкалы и тем самым оставляет сопоставимыми принадлежности подсистем, составленных из двух показателей и из одного. Наблюдения, в которых отсутствует хотя бы одна из пяти переменных, из расчёта исключены. После этого в панели осталось 138 полных наблюдений «страна–год». Панель почти сбалансирована: по Российской Федерации имеется 12 полных наблюдений, по остальным странам – по 14.

5. Результаты расчётов

Среднее значение K_s по всей панели равно 0.382 при стандартном отклонении 0.090. Наибольшие средние значения по странам получены для США (0.508), Китая (0.471) и Германии (0.457), наименьшие – для Индии (0.269), Индонезии (0.283) и Мексики (0.308). Эти величины отражают совместную конфигурацию пяти выбранных показателей и не являются рейтингом состояния национальных экономик в целом.

Траектории показывают, что системность не остаётся постоянной, даже если страна всё это время относится к одной и той же группе по уровню развития. Особенно заметны изменения 2020–2021 годов. Это говорит в пользу применения показателя для мониторинга и сценарных расчётов, где важно не то, «хороша» или «плоха» система вообще, а то, какая именно подсистема или какое именно взаимодействие изменились.

Таблица 2. Средние значения показателей системности по странам, 2010–2023 гг.

Страна	n	Среднее K_s	Среднее E_s	Средний рост ВВП, %
США	14	0.508	2.566	2.39
Китай	14	0.471	2.020	6.86
Германия	14	0.457	1.798	1.46
Российская Федерация	12	0.401	1.213	1.97
Бразилия	14	0.394	1.130	1.58
Турция	14	0.385	1.107	5.95
ЮАР	14	0.343	0.809	1.36
Мексика	14	0.308	0.700	1.98
Индонезия	14	0.283	0.593	4.73
Индия	14	0.269	0.517	6.08

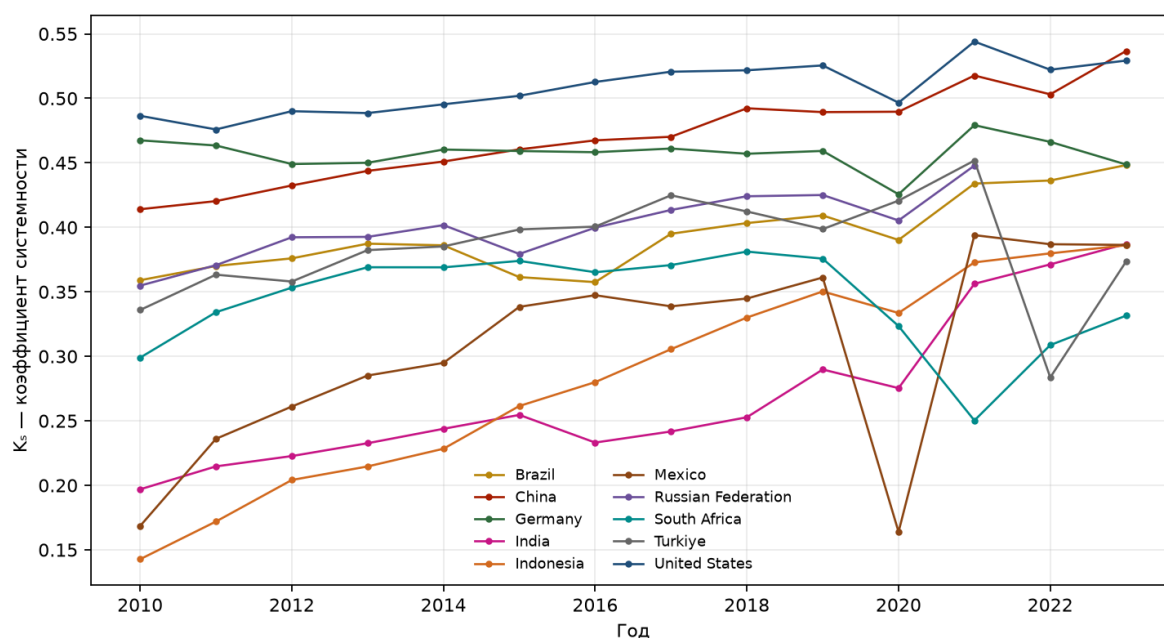


Рисунок 1. Динамика коэффициента системности K_s по странам выборки, 2010–2023 гг.

$$\rho_s = \text{corr}(\text{rank}(K_s), \text{rank}(g)) \quad (7)$$

Здесь ρ_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмена, то есть коэффициент линейной корреляции между рангами значений K_s и годового роста ВВП g в выборке. Сопоставление с ростом ВВП даёт $\rho_s = -0.125$ и коэффициент Пирсона -0.066 при двусторонних уровнях значимости 0.141 и 0.442 соответственно. Метод повторных выборок (бутстрэп, 2000 повторений) даёт для коэффициента Спирмена 95%-ный

интервал $[-0.294; 0.044]$. Таким образом, на этих данных устойчивой положительной связи между коэффициентом системности и годовым ростом ВВП не обнаруживается.

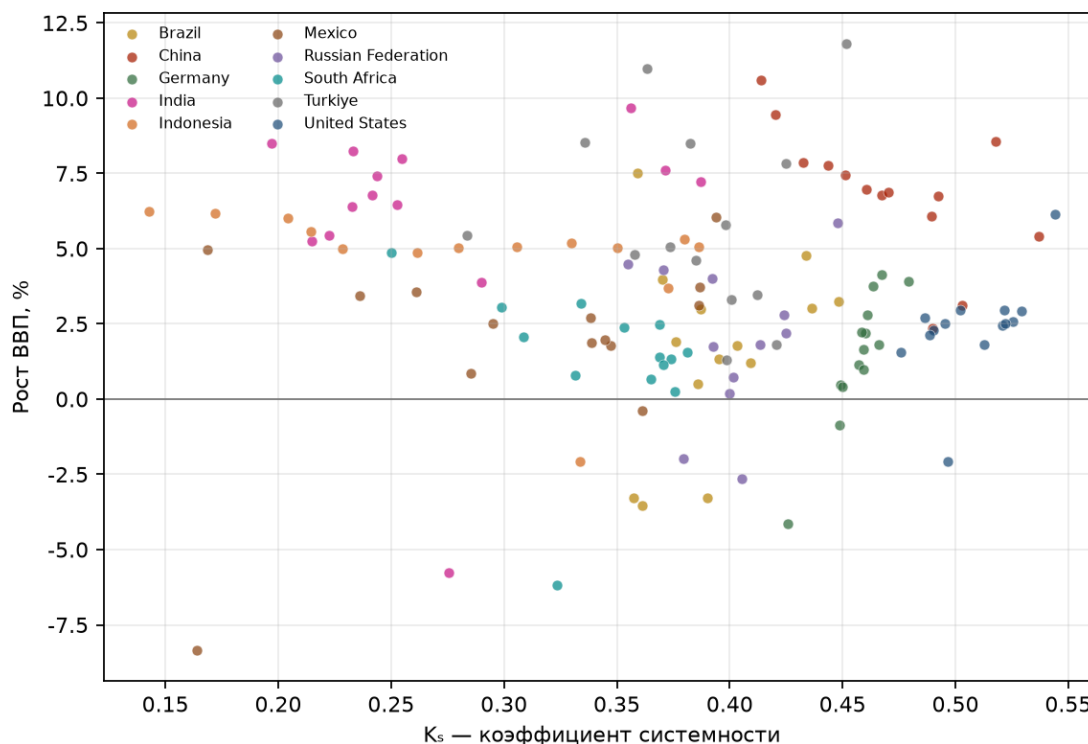


Рисунок 2. Соотношение K_s и роста ВВП по 138 полным наблюдениям «страна–год».

Этот результат вполне объясним по существу. Рост ВВП – годовой поток, на который влияют цены на сырьё, внешний спрос, бюджетная политика, валютный курс, эпидемии и эффект базы. K_s же построен как структурная характеристика: он показывает, насколько одновременно выражены реальная, финансовая и цифровая подсистемы. Развитая структура вполне может сочетаться с низкими текущими темпами роста, а краткосрочное оживление – происходить без всякого усиления системных связей. Расчёт, следовательно, подтверждает, что K_s измеряет нечто иное, чем темп роста, и должен дополнять традиционные макроэкономические показатели, а не подменять их.

6. Анализ рисков и оценка погрешностей

Достоверность результатов, получаемых по нечётко-системной модели, ограничивается рисками четырёх видов. Информационный риск связан с пропусками в данных, запаздыванием и несопоставимостью наблюдений. Параметрический риск порождается выбором t-нормы, весов, границ нормировки и пороговых значений. Структурный риск определяется тем, как именно экономическая система разбита на подсистемы. Вычислительный риск включает ошибки округления, неполный перебор сочетаний и численную неустойчивость. В выполненном расчёте эти риски уменьшены за счёт исключения наблюдений с пропусками, явного указания желательного направления каждого показателя, повторения расчёта при другом способе объединения показателей и применения повторных выборок. Общий риск модели оценивается взвешенной суммой четырёх составляющих:

$$R(S) = w_I R_I + w_P R_P + w_S R_S + w_C R_C, \quad \sum_q w_q = 1 \quad (8)$$

Здесь R_I , R_P , R_S и R_C – оценки информационного, параметрического, структурного и вычислительного рисков, выраженные в единой шкале, $w_q \geq 0$ – их веса, $q \in \{I, P, S, C\}$. Абсолютная погрешность принадлежности определяется как расстояние между расчётной степенью принадлежности и её эталонным или возмущённым значением. Если эталонное значение неизвестно, вместо него можно взять середину интервала, полученного от экспертов, либо значение, измеренное независимым способом.

$$\delta\mu_i = |\mu_i - \mu_i^*|; \quad \varepsilon_i = \frac{\delta\mu_i}{\max(\mu_i^*, \varepsilon_0)} \quad (9)$$

Здесь μ_i^* – эталонное или возмущённое значение степени принадлежности μ_i , $\delta\mu_i$ и ε_i – её абсолютная и относительная погрешности, $\varepsilon_0 > 0$ – малая постоянная, исключающая деление на нуль. Для самого коэффициента системности удобной мерой погрешности

служит относительная разность ε_K базового расчёта K_S и возмущённого расчёта K'_S , а чувствительность S_θ по параметру θ , то есть эластичность K_S по этому параметру, позволяет выявить те величины, которые нуждаются в дополнительной проверке или уточнении.

$$\varepsilon_K = \frac{|K'_S - K_S|}{\max(K_S, \varepsilon_0)}; \quad S_\theta = \frac{\theta}{K_S} \cdot \frac{\partial K_S}{\partial \theta} \quad (10)$$

Главное ограничение выполненного расчёта – нормировка по минимуму и максимуму самой выборки: крайние наблюдения задают границы шкалы и тем самым влияют на все степени принадлежности. Второе ограничение состоит в том, что выбранные пять показателей не охватывают государственный долг, положение банка в сети межбанковских связей, нормативы достаточности капитала, валютные риски и устойчивость бюджета. Третье – корреляция с ростом ВВП сама по себе является слабой формой проверки, тем более что рост ВВП входит в K_S как один из двух показателей подсистемы реальной экономики. В дальнейшем целесообразны проверка на данных, не входивших в расчёт, привлечение отраслевой и бухгалтерской отчётности предприятий, применение других функций принадлежности и прямое сравнение с известными мерами финансовой устойчивости.

7. Обсуждение результатов

Предлагаемый аппарат наиболее полезен там, где аналитику нужно свести воедино разнородные экономические сведения, не делая вид, что все границы чёткие. Для банка или инвестиционного комитета три оценки подсистем читаются как краткая характеристика той обстановки, в которой принимается решение. Высокая финансовая оценка при низкой оценке реальной экономики может указывать на кредитную экспансию, не подкреплённую производством. Высокая цифровая оценка при слабых финансах – на технологические возможности, упирающиеся в нехватку

денег. Высокая системность при падающем темпе роста ВВП – на то, что система сохранила связность, несмотря на неблагоприятный внешний толчок. Каждое такое прочтение является, разумеется, гипотезой, требующей дальнейшей проверки.

Подход применим и при сравнении регионов. Пусть два региона имеют примерно одинаковый рост ВВП, но различаются тем, как связаны у них финансы, положение на рынке труда и доступность цифровых услуг. Обычный сводный показатель признает их одинаковыми, тогда как K_s выявит различие конфигураций. Та же логика применима и к отдельным предприятиям: ликвидность, доступ к рынку, надёжность цепочки поставок и качество информации представляются как подсистемы, сочетание которых даёт дополнительные сведения для принятия решения. В этом смысле системный эффект есть формальное выражение хорошо известной экономистам мысли о том, что взаимосвязанность порождает свойства, невидимые при взгляде на показатели по отдельности.

При использовании модели в прикладных исследованиях её следует встраивать в более широкую схему выявления причинно-следственных связей. В настоящей статье показатель рассматривается только как понятный измерительный инструмент. В дальнейшем можно проверить, предсказывают ли изменения K_s будущую волатильность, уровень неплатежей, объём инвестиций или устойчивость экономики при учёте страновых и временных различий. Для этого потребуется заранее зафиксировать состав показателей и период проверки, оценить чувствительность к способу нормировки и сравнить полученные результаты с методом главных компонент, факторными моделями и алгоритмами машинного обучения.

8. Применение в экономике и финансах

Экономический смысл K_s полнее всего раскрывается в привязке к конкретной задаче принятия решения. В кредитном анализе финансовую подсистему можно задать кредитованием частного сектора, ликвидностью, долговой нагрузкой и качеством банковского посредничества, а подсистему реальной экономики – ростом производства, занятостью и производительностью труда. Их совместная принадлежность как раз и показывает, в какой мере расширение кредита обеспечено производственной деятельностью. Высокая кредитная принадлежность при слабой принадлежности реальной экономики сама по себе хорошим признаком не является: она может означать структуру финансирования, уязвимую к потере капитала или к падению цен активов. Наоборот, одновременное усиление производства, доступности финансовых услуг и цифровой инфраструктуры означает более согласованное состояние системы.

В инвестиционном анализе коэффициент системности может служить характеристикой тех условий, в которых просчитываются сценарии. Пусть проект оценивается по ожидаемой доходности, риску, ликвидности, доступу к рынку и технологической совместимости. Нечётко-системное представление позволяет отделить прямой вклад каждого критерия от дополнительного эффекта, возникающего от их сочетания. Это существенно для проектов устойчивого финансирования, инфраструктурных вложений и регионального развития, где финансовый результат зависит от институциональных и технологических дополнений к самому проекту. Поэтому коэффициент следует применять вместе с анализом денежных потоков, дисконтированием, стресс-тестированием и принятыми мерами рыночного и кредитного риска.

В региональной экономической политике K_s помогает находить узкие места. Два региона с одинаковым ростом ВВП могут иметь разные

системные профили: один держится на узком экспортном секторе, другой опирается на более разнообразное сочетание финансов, человеческого капитала и цифровой инфраструктуры. Разложение коэффициента на μ_R , μ_F и μ_D делает это различие видимым и позволяет выбрать адресную меру. Если μ_D высока, а μ_F низка, то помогать надо доступности финансовых услуг, а не вкладывать дополнительные средства в цифровизацию. Если высока μ_F , а низка μ_R , то внимание надзорных органов следует сосредоточить на качестве кредитного портфеля и распределении кредита.

Показатель может быть включён и в системы раннего предупреждения. Снижение K_s может вызываться ослаблением одной подсистемы, утратой взаимодополняемости двух подсистем или просто изменением границ данных, по которым проводится нормировка. Экономический смысл этих трёх случаев различен, и различать их необходимо. Поэтому при мониторинге следует хранить весь набор значений (μ_R, μ_F, μ_D) , вклад каждого парного взаимодействия и результат пересчёта при другой t -норме. Если сообщать только сводный коэффициент, механизм изменения останется скрытым.

Основное ограничение состоит в том, что выполненная проверка предназначена показать работоспособность и понятность самого показателя, а не оценить его причинную объясняющую силу. В выборке десять стран и не более четырнадцати лет наблюдений, причём ряд важных финансовых переменных не имеет сплошного покрытия. Нормировка по выборке делает K_s относительной величиной, привязанной к составу этой выборки. В дальнейшем целесообразно использовать фиксированные эталонные интервалы, сравнивать варианты нормировки по отдельным странам и по миру в целом, а также привлекать бухгалтерские данные предприятий. Строгая проверка предсказательной силы должна сопоставить K_s с обычными факторными моделями, индексами главных

компонент, показателями стресс-тестов и алгоритмами машинного обучения на периоде, не участвовавшем в расчёте.

Второе ограничение относится к тому, как задана иерархия системы. Выбор трёх подсистем обоснован содержательно, но не является единственно возможным. Другие варианты разбиения могут включать бюджетные возможности, внешнюю торговлю, рынок труда, глубину финансовых рынков и качество институтов. Неопределённость структуры поэтому следует рассматривать как ещё один параметр модели. Полезным развитием является расчёт сразу по нескольким правдоподобным иерархиям, когда окончательные выводы делаются по тем результатам, которые устойчивы при переходе от одного варианта разбиения к другому.

9. Заключение

В статье показано применение нечёткого системного обобщения теории множеств к финансовым и экономическим системам [25, 26]. К нечёткой принадлежности добавлено иерархическое строение системы, а нечёткий системный эффект и коэффициент системности определены как меры способности подсистем к взаимодействию. Расчёт на 138 реальных наблюдениях «страна–год» показал, что показатель вычисляется прозрачно, сравним между странами и пригоден для наблюдения за динамикой. Слабая и статистически незначимая корреляция с годовым ростом ВВП неудачей модели не является. Напротив, она уточняет смысл введённого понятия: системность есть структурная характеристика экономики, и отождествлять её с краткосрочной макроэкономической динамикой нельзя.

Литература

1. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F. et al. Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior // *SN Business & Economics*. 2021. Vol. 1, no. 7. Art. 99. DOI: 10.1007/s43546-021-00103-3.
2. Ramazanov R. Agent modeling in research and forecasting of socio-economic systems and processes // *Economics and the Mathematical Methods*. 2021. Vol. 57, no. 1. DOI: 10.31857/S042473880010550-4.
3. Pismennaia A. Organizational efficiency in conditions of external uncertainty: A quantitative analysis // *Economics and the Mathematical Methods*. 2021. Vol. 57, no. 1. DOI: 10.31857/S042473880014084-1.
4. Aghababaei B., Pishvae M. S., Barzinpour F. A fuzzy bi-level programming approach to scarce drugs supply and ration planning problem under risk // *Fuzzy Sets and Systems*. 2022. Vol. 434. P. 48–72. DOI: 10.1016/j.fss.2021.02.021.
5. Matanda E., Chikodza E., Kwenda F. Fuzzy structural risk of default for banks in Southern Africa // *Cogent Economics & Finance*. 2022. Vol. 10, no. 1. Art. 2141884. DOI: 10.1080/23322039.2022.2141884.
6. Makarov V. Agent-based modeling of large socio-economic systems based on the general theory of functional systems of P. K. Anokhin // *Artificial Societies*. 2022. Vol. 17, no. 3. DOI: 10.18254/S207751800021924-5.
7. Qu X. On the measurement of opportunity-dependent inequality under uncertainty // *Journal of Mathematical Economics*. 2022. Vol. 101. Art. 102690. DOI: 10.1016/j.jmateco.2022.102690.
8. Li Z.-S., Chang K.-H. A novel Pythagorean fuzzy set-based risk-ranking method for handling human cognitive information in risk-assessment problems // *Systems*. 2023. Vol. 11, no. 8. Art. 402. DOI: 10.3390/systems11080402.
9. Haktanır E., Kahraman C. Intuitionistic fuzzy risk adjusted discount rate and certainty equivalent methods for risky projects // *International Journal of Production Economics*. 2023. Vol. 257. Art. 108757. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108757.
10. Cinfrignini A., Petturiti D., Vantaggi B. Dynamic bid–ask pricing under Dempster–Shafer uncertainty // *Journal of Mathematical Economics*. 2023. Vol. 107. Art. 102871. DOI: 10.1016/j.jmateco.2023.102871.
11. Nendel M., Streicher J. An axiomatic approach to default risk and model uncertainty in rating systems // *Journal of Mathematical Economics*. 2023. Vol. 109. Art. 102896. DOI: 10.1016/j.jmateco.2023.102896.
12. Okrepilov V. V., Gagulina N. L. Quality of life modeling in Saint Petersburg and the Northwest regions // *Economics and Mathematical Methods*. 2024. Vol. 60, no. 3. P. 54–69. DOI: 10.31857/S0424738824030052.
13. Deng Z., Hao Y. Energy price uncertainty, environmental policy, and firm investment: A dynamic modeling approach // *Energy Economics*. 2024. Vol. 130. Art. 107306. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.107306.
14. Orlova E. V. Hybrid approach to modeling labor productivity factors: Synthesis of randomized controlled experiments and causal Bayesian networks // *Economics and Mathematical Methods*. 2024. Vol. 60, no. 1. P. 108–120. DOI: 10.31857/S0424738824010099.
15. Secchi D., Gahrn-Andersen R., Neumann M. Complexity in systemic cognition: Theoretical explorations with agent-based modeling // *Systems*. 2024. Vol. 12, no. 8. Art. 287. DOI: 10.3390/systems12080287.
16. Profiroiu C. M., Profiroiu A. G., Constantin D.-L. et al. Assessing regional economic performance: Fuzzy multi-criteria decision making and panel regression approach //

Socio-Economic Planning Sciences. 2025. Vol. 100. Art. 102245. DOI: 10.1016/j.seps.2025.102245.

17. Nalluri V., Chowdary K. M., Chen L.-S. Risk evaluation in the implementation of sustainable measures in the supply chain operations: A Fuzzy Delphi-DEMATEL approach // Cleaner Logistics and Supply Chain. 2025. Vol. 17. Art. 100262. DOI: 10.1016/j.clscn.2025.100262.

18. Deveci M., Isik M., Arslan C., Güneri B. Multi-criteria decision optimization for sustainable business strategy under uncertainty: A firm-level study // Kuwait Journal of Science. 2026. Vol. 53, no. 3. Art. 100603. DOI: 10.1016/j.kjs.2026.100603.

19. World Development Indicators [Electronic resource] / World Bank. URL: <https://api.worldbank.org/v2/country/BRA;CHN;DEU;IND;IDN;MEX;RUS;ZAF;TUR;USA/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?date=2010:2023&format=json> (accessed: 24.08.2026).

20. Луценко, Е. В. Революция начала XXI века в искусственном интеллекте: глубинные механизмы и перспективы / Е. В. Луценко, Н. С. Головин. - Изд. 3, - Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – 499 с. – DOI 10.13140/RG.2.2.17056.56321. – EDN OMIPIL. <https://www.researchgate.net/publication/378138050>

21. Луценко, Е. В. Системы / Е. В. Луценко, Н. С. Головин. – Краснодар : Виртуальный Центр системно-когнитивных исследований "Эйдос" , 2024. – 518 с. – DOI 10.13140/RG.2.2.22863.09123. – EDN: INUTJL. <https://www.researchgate.net/publication/379654902>

22. Луценко Е.В. Универсальный информационный вариационный принцип как метатеоретический фундамент науки и его применение в различных предметных областях. // Фундаментальная монография, издание 2-е, дополненное // June 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.19179.71209, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/408172647>, 75,0 у.п.л.

23. Луценко Е.В. Системно-экономическая Квантовая Теория Поля (СЭКТП): обобщение принципов относительности и нарушение законов сохранения в условиях анизотропии экономического пространства-времени в многополярном мире при переходах между экономическими умвелтами // October 2025, DOI: 10.13140/RG.2.2.17338.04802, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/397107928>

24. Луценко Е.В. Основания системной математики // August 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.30165.79843, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/410836476>

25. Луценко Е.В. Нечёткое системное обобщение теории множеств // July 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.11022.73280, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/410722162>

26. Луценко Е.В. Описание динамики и взаимодействия экономических систем на основе нечёткого системного обобщения теории множеств // August 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.33853.83689, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/413550280>

References

1. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F. et al. Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior // SN Business & Economics. 2021. Vol. 1, no. 7. Art. 99. DOI: 10.1007/s43546-021-00103-3.

2. Ramazanov R. Agent modeling in research and forecasting of socio-economic systems and processes // *Economics and the Mathematical Methods*. 2021. Vol. 57, no. 1. DOI: 10.31857/S042473880010550-4.
3. Pismennaia A. Organizational efficiency in conditions of external uncertainty: A quantitative analysis // *Economics and the Mathematical Methods*. 2021. Vol. 57, no. 1. DOI: 10.31857/S042473880014084-1.
4. Aghababaei B., Pishvaei M. S., Barzinpour F. A fuzzy bi-level programming approach to scarce drugs supply and ration planning problem under risk // *Fuzzy Sets and Systems*. 2022. Vol. 434. P. 48–72. DOI: 10.1016/j.fss.2021.02.021.
5. Matanda E., Chikodza E., Kwenda F. Fuzzy structural risk of default for banks in Southern Africa // *Cogent Economics & Finance*. 2022. Vol. 10, no. 1. Art. 2141884. DOI: 10.1080/23322039.2022.2141884.
6. Makarov V. Agent-based modeling of large socio-economic systems based on the general theory of functional systems of P. K. Anokhin // *Artificial Societies*. 2022. Vol. 17, no. 3. DOI: 10.18254/S207751800021924-5.
7. Qu X. On the measurement of opportunity-dependent inequality under uncertainty // *Journal of Mathematical Economics*. 2022. Vol. 101. Art. 102690. DOI: 10.1016/j.jmateco.2022.102690.
8. Li Z.-S., Chang K.-H. A novel Pythagorean fuzzy set-based risk-ranking method for handling human cognitive information in risk-assessment problems // *Systems*. 2023. Vol. 11, no. 8. Art. 402. DOI: 10.3390/systems11080402.
9. Haktanir E., Kahraman C. Intuitionistic fuzzy risk adjusted discount rate and certainty equivalent methods for risky projects // *International Journal of Production Economics*. 2023. Vol. 257. Art. 108757. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108757.
10. Cinfrignini A., Petturiti D., Vantaggi B. Dynamic bid–ask pricing under Dempster–Shafer uncertainty // *Journal of Mathematical Economics*. 2023. Vol. 107. Art. 102871. DOI: 10.1016/j.jmateco.2023.102871.
11. Nendel M., Streicher J. An axiomatic approach to default risk and model uncertainty in rating systems // *Journal of Mathematical Economics*. 2023. Vol. 109. Art. 102896. DOI: 10.1016/j.jmateco.2023.102896.
12. Okrepilov V. V., Gagulina N. L. Quality of life modeling in Saint Petersburg and the Northwest regions // *Economics and Mathematical Methods*. 2024. Vol. 60, no. 3. P. 54–69. DOI: 10.31857/S0424738824030052.
13. Deng Z., Hao Y. Energy price uncertainty, environmental policy, and firm investment: A dynamic modeling approach // *Energy Economics*. 2024. Vol. 130. Art. 107306. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.107306.
14. Orlova E. V. Hybrid approach to modeling labor productivity factors: Synthesis of randomized controlled experiments and causal Bayesian networks // *Economics and Mathematical Methods*. 2024. Vol. 60, no. 1. P. 108–120. DOI: 10.31857/S0424738824010099.
15. Secchi D., Gahrn-Andersen R., Neumann M. Complexity in systemic cognition: Theoretical explorations with agent-based modeling // *Systems*. 2024. Vol. 12, no. 8. Art. 287. DOI: 10.3390/systems12080287.
16. Profiroiu C. M., Profiroiu A. G., Constantin D.-L. et al. Assessing regional economic performance: Fuzzy multi-criteria decision making and panel regression approach // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2025. Vol. 100. Art. 102245. DOI: 10.1016/j.seps.2025.102245.

17. Nalluri V., Chowdary K. M., Chen L.-S. Risk evaluation in the implementation of sustainable measures in the supply chain operations: A Fuzzy Delphi–DEMATEL approach // *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2025. Vol. 17. Art. 100262. DOI: 10.1016/j.clscn.2025.100262.
18. Deveci M., Isik M., Arslan C., Güneri B. Multi-criteria decision optimization for sustainable business strategy under uncertainty: A firm-level study // *Kuwait Journal of Science*. 2026. Vol. 53, no. 3. Art. 100603. DOI: 10.1016/j.kjs.2026.100603.
19. World Development Indicators [Electronic resource] / World Bank. URL: <https://api.worldbank.org/v2/country/BRA;CHN;DEU;IND;IDN;MEX;RUS;ZAF;TUR;USA/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?date=2010:2023&format=json> (accessed: 24.08.2026).
20. Lucenko, E. V. Revolyuciya nachala XXI veka v iskusstvennom intellekte: glubiny`e mexanizmy` i perspektivy` / E. V. Lucenko, N. S. Golovin. - Izd. 3, - Krasnodar : Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. I.T. Trubilina, 2025. – 499 s. – DOI 10.13140/RG.2.2.17056.56321. – EDN OMIPIL.
<https://www.researchgate.net/publication/378138050>
21. Lucenko, E. V. Sistemy` / E. V. Lucenko, N. S. Golovin. – Krasnodar : Virtual`ny`j Centr sistemno-kognitivny`x issledovanij E`jdos , 2024. – 518 s. – DOI 10.13140/RG.2.2.22863.09123.– EDN: INUTJL.
<https://www.researchgate.net/publication/379654902>
22. Lucenko E.V. Universal`ny`j informacionny`j variacionny`j princip kak metateoreticheskij fundament nauki i ego primenenie v razlichny`x predmetny`x oblastyax. // *Fundamental`naya monografiya, izdanie 2-e, dopolnennoe* // June 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.19179.71209, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/408172647>, 75,0 u.p.l.
23. Lucenko E.V. Sistemno-e`konomicheskaya Kvantovaya Teoriya Polya (SE`KTP): obobshhenie principov otnositel`nosti i narushenie zakonov soxraneniya v usloviyax anizotropii e`konomicheskogo prostranstva-vremeni v mnogopolyarnom mire pri perexodax mezhdru e`konomicheskimi umvel`tami // October 2025, DOI: 10.13140/RG.2.2.17338.04802, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/397107928>
24. Lucenko E.V. Osnovaniya sistemnoj matematiki // August 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.30165.79843, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/410836476>
25. Lucenko E.V. Nechyotkoe sistemnoe obobshhenie teorii mnozhestv // July 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.11022.73280, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/410722162>
26. Lucenko E.V. Opisaniye dinamiki i vzaimodejstviya e`konomicheskix sistem na osnove nechyotkogo sistemnogo obobshheniya teorii mnozhestv // August 2026, DOI: 10.13140/RG.2.2.33853.83689, License CC BY 4.0, <https://www.researchgate.net/publication/413550280>