УДК 330.47;338.45
doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-6

НЕЛИНЕЙНЫЕ ФЕНОМЕНЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЦИФРОВИЗИРУЕМОЙ ЭКОНОМИКЕ

С. В. Чупров[1], А. В. Бабкин[2]

[1] Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия
[2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[1] ChuprovSV@yandex.ru, [2]al-vas@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* С нарастанием цифровизации российской экономики приобретает теоретическую и практическую значимость осмысление доминирующих тенденций в сфере распространения и защиты информационных потоков в нестационарном пространстве. Погружаемая в подобные среды эволюционирующая индустриальная система отличается сильно возмущаемыми процессами и метаморфозами, отображаемыми нелинейными феноменами, мерами хаотизации и порядка ее поведения. На этом основании с учетом обсуждаемых феноменов исследование направлено на анализ и обеспечение устойчивости функционирования индустриальной системы перед лицом воздействия на нее как потоков технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой экономики, так и отягощающих поведение системы геополитических и экономических угроз. *Материалы и методы*. Теоретико-методологическую базу исследования составили учения о термодинамике, статистической физике, нелинейной динамике, концепции и методы теорий катастроф, связи и информации, кибернетики и синергетики, эволюционной и инновационной экономики и производственного менеджмента. *Результаты.* С привлечением их представлений и аналитики раскрываются понятия об энтропии, хаосе и эффекте функционирования системы, поддерживаемого поступающей в нее управляющей информацией. В рамках теории информации охарактеризовано влияние параметров сигнала и шума на информационные процессы в экономике, особенности их передачи и искажения. В контексте статистической зависимости эффекта деятельности экономической системы от накопленной в ней управляющей информации выполнены преобразование и трактовка этой экспоненциальной зависимости с мерами порядка поведения индустриальной системы. Интерпретированы нелинейные феномены этой зависимости и эволюции индустриальной системы с целью достижения ее устойчивого эффекта. *Выводы.* Выполненное исследование дополняет теоретические представления о факторах обеспечения устойчивости функционирования модернизируемых индустриальных систем и аргументирует необходимость симбиоза естественных и экономических наук для углубления анализа и толкования феноменов эволюции хаотизированных индустриальных систем в цифровизируемой экономике.

Ключевые слова: инновация, информация, нелинейность, порядок, устойчивость, хаос, цифровизация, эволюция, энтропия, эффект

Финансирование: исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика» (URL: https//rscf.ru/project/23-28-01316).

© Чупров С. В., Бабкин А. В., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Чупров С. В., Бабкин А. В. Нелинейные феномены и устойчивость функционирования индустриальной системы в цифровизируемой экономике // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 71–85. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-6

NONLINEAR PHENOMENA AND STABILITY OF FUNCTIONING OF THE INDUSTRIAL SYSTEM IN A DIGITALIZED ECONOMY

S.V. Chuprov[1], A.V. Babkin[2]

[1] Baikal State University, Irkutsk, Russia
[2] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
[1] ChuprovSV@yandex.ru, [2]al-vas@mail.ru

Abstract. *Background*. With the increasing digitalization of the Russian economy, understanding the dominant trends in the distribution and protection of information flows in a non-stationary space is gaining theoretical and practical significance. An evolving industrial system immersed in such environments is characterized by highly disturbed processes and metamorphoses displayed by nonlinear phenomena, measures of chaos and order of its behavior. On this basis, taking into account the discussed phenomena, the article is aimed at analyzing and ensuring the stability of the industrial system in the face of the impact of both flows of technological and product innovations of the digitalized economy and geopolitical and economic threats that aggravate the behavior of the system. *Materials and methods.* The theoretical and methodological basis of the study was formed by the doctrines of thermodynamics, statistical physics, nonlinear dynamics, concepts and methods of theories catastrophe, communication and information, cybernetics and synergetics, evolutionary and innovative economics and production management. *Results.* Using their ideas and analytics, the concepts of entropy, chaos and the effect of the functioning of the system supported by the control information coming into it are revealed. Within the framework of information theory, the influence of signal and noise parameters on information processes in the economy, the features of their transmission and distortion are characterized. In the context of the statistical dependence of the effect of the economic system's activity on the control information accumulated in it, the transformation and interpretation of this exponential dependence with measures of the order of behavior of the industrial system are performed. Nonlinear phenomena of this dependence and the evolution of the industrial system are interpreted in order to achieve its stable effect. *Conclusions.* The study complements theoretical ideas about the factors ensuring the stability of the functioning of modernized industrial systems and argues for the need for a symbiosis of natural and economic sciences to deepen the analysis and interpretation of the phenomena of the evolution of chaotic industrial systems in a digitalized economy.

Keywords: innovation, information, nonlinearity, order, stability, chaos, digitalization, evolution, entropy, effect

Financing: the research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant № 23-28-01316 «Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice» (URL: https//rscf.ru/project/23-28-01316).

For citation: Chuprov S.V., Babkin A.V. Nonlinear phenomena and stability of functioning of the industrial system in a digitalized economy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):71–85. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-6

Введение

Глобальные вызовы и угрозы, ускоряемые стремительным развитием наукоемкого производства, порождают в пространстве мировой и национальной экономик неординарные динамичные процессы, побуждающие адаптировать их реальный сектор к ошеломительным возмущениям своего окружения. В пору формирования и укоренения закономерного технологического уклада с очевидностью возрастает теоретическая и прикладная ценность исследований по анализу и поддержанию эффективной и устойчивой деятельности российских компаний в среде инновационно-технологического прорыва [1, 2]. В разрезе цифровизации промышленности, по данным отчета Industry 4.0 Market, ожидается, что размер рынка индустрии 4.0 вырастет с 94,42 млрд долл. США в 2023 г. до 241,58 млрд долл. США к 2028 г. при среднегодовом темпе роста 20,67 % в течение прогнозируемого периода (2024–2029) [3] и к 2030 г. достигнет 367,50 млрд долл. США [4]. По правительственному межотраслевому проекту «Умное производство» цифровая зрелость основных производственных процессов предприятий промышленности РФ в 2023 г. оценивалась величиной 50 %, она должна увеличиваться каждый год на 5 % и составит в 2030 г. уже 85 % [5].

Испытывая возрастающий напор потока технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой экономики и ужесточение внешних рынков, отечественные промышленные предприятия претерпевают метаморфозы своего хаотического функционирования и подвергаются риску нарушения воспроизводства и истощения ресурсов, потери устойчивости и угасания деловой активности. Ввиду этого встраивание индустриальных систем в инновационную экономику и обретение эффективной и устойчивой деятельности актуализировало задачу поступательного развития и апробации теоретико-методологического и прикладного оснащения адаптивного промышленного менеджмента.

Вместе с тем констатируем: в тени исследований нередко остаются проблематика информационной природы прогресса экономических систем, поиск и интерпретация зависимости их организованности и эффекта поведения от энтропии систем и объема поступившей в них управляющей информации с позиций теории информации К. Шеннона [6] и статистической концепции В. А. Трапезникова [7]. Проектирование и освоение механизмов адаптации индустриальных систем востребовали как построения и внедрения интеллектуальных технологий производства и управления, так и компетентного применения в концепциях моделирования симбиоза естественных и общественных наук.

Современные исследования охватывают широкий спектр концептуальных и прикладных разработок по продуцированию и модернизации информационно-коммуникационных технологий и перспективам их революционизирующего воздействия на отечественную промышленность. Конструирование инструментов нейтрализации или ослабления влияния критических помех и создания экономики знаний объясняют притягательность тематики изысканий по устойчивости экономических систем [8], аналитике процессов обеспечения устойчивости инновационного развития в условиях неопределенной и динамичной внешней среды [9], влиянию инноваций в промышленности на структурные изменения в российской экономике [10] и формированию нового технологического уклада хозяйственных структур [11].

Приращению научных знаний посвящены публикации по проблемам активизации инновационного и инвестиционного потенциалов промышленных предприятий регионов [12], технологическим аспектам образования единого информационного пространства предприятия и переходу от экономики данных к экономике знаний [13], нейрокомпьютеризации производственного процесса, цифровой веб-трансформации и продвижению цифровых продуктов и технологий [14] и др.

Замысел проводимого авторами исследования заключается в инструментализации адаптивного управления эффектом и устойчивостью индустриальных систем благодаря использованию и обобщению учений о сложных системах для экономической интерпретации устойчивости, энтропии, хаоса, порядка и информации в промышленном производстве.

Материалы и методы

Теоретико-методологическую ценность для поиска и толкования энтропийно-информационного условия эффекта функционирования индустриальной системы и ее устойчивости представляют классические работы физиков Л. Больцмана [15], Дж. Гиббса [16], Э. Шредингера [17], кибернетиков Н. Винера [18], К. Шеннона [6] и их авторитетных последователей лауреата Нобелевской премии И. Пригожина и И. Стенгерс [19], Г. Хакена [20], Г. Ферстера [21], В. А. Трапезникова [7], В. И. Арнольда [22] и др.

Сущность обсуждаемой проблемы и метод ее решения определили объектом исследования функционирование индустриальной системы, а предметом исследования – динамичные энтропийно-информационные процессы и управление ими в индустриальной системе под углом зрения порядка и организованности ее поведения, устойчивости и эффекта деятельности.

Цель исследования – развитие информационной аналитики нелинейных феноменов и условий поддержания эффекта и устойчивости функционирования эволюционирующей индустриальной системы в возмущенном пространстве.

Сформулированная цель подводит к необходимости решения взаимоувязанных задач исследования:

– на базе учения К. Шеннона о системе связи и передаче информации в канале с шумами воспроизвести его статистическую концепцию в приложении к информационным потокам в экономическом пространстве;

– воспользовавшись фундаментальными учениями об энтропии, хаосе, порядке поведения систем и информации в них, предложить толкование атрибутов упорядоченности и организованности, эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем в хаотизированных средах;

– исходя из формализованной В. А. Трапезниковым статистической зависимости эффекта поведения индустриальных систем от энтропийных и информационных процессов, раскрыть и интерпретировать нелинейный феномен влияния параметров порядка поведения этих систем на эффект их функционирования;

– с опорой на качественные выводы математической теории перестроек (по В. И. Арнольду) предложить трактовку волнообразной траектории эволюции индустриальной системы с ростом ее эффекта и нелинейным феноменом последовательности «устойчивое – неустойчивое – устойчивое» состояний модернизируемой системы.

Междисциплинарную методологическую основу работы составляет симбиоз естественно-научных и общественных учений: термодинамики, статистической физики, нелинейной динамики, теорий катастроф, связи и информации, кибернетики и синергетики, эволюционной и инновационной экономики и производственного менеджмента.

Исследование оснащалось общенаучными методами анализа, синтеза и сравнения, макроподхода, статистической теории, математики. Информационную поддержку исследованию оказали официальные документы органов государственного управления, данные аналитических агентств, монографии, научные статьи в ведущих журналах, представленных в системе научного цитирования РИНЦ и базах данных Scopus и др.

Результаты и обсуждение

Парадигма об энтропии и хаосе и их взаимовлиянии на организованность и информационное содержание динамических систем восходит к фундаментальным исследованиям по термодинамике и статистической физике. Учение об энтропии замкнутых систем не только открыло возможности статистического изучения их поведения, свойств равновесия и устойчивости, но и обогатило аналитический арсенал специалистов, занятых изучением функционирования и перестроек экономической системы. Случайные воздействия вносят в ее поведение беспорядок и неопределенность, которая оценивается термодинамической величиной энтропии, поэтому не вызывает сомнений ее сходство с присущей системе неупорядоченностью, возникающей из-за рассогласованности и хаотизации действий ее подсистем и тем самым сдерживающей повышение эффекта деятельности системы в целом.

С цифровизацией экономики беспрецедентное наполнение ее потоками ценной информацией (по оценкам Мэривилльского университета, к 2025 г. по всему миру будет создаваться более 180 трлн Гб данных ежегодно [3]) вместе с тем сопровождается и наращиванием ее антипода – шума, который действует на полезные сигналы и может изрядно исказить содержание воспринимаемой информации. Такого рода процессы находятся в центре внимания теорий связи и информации, раскрывающих сущность и влияние сигнала и шума и анализирующих их соотношение в каналах передачи информации. При этом шумовой фон в экономике создают как объективно порождаемое асимметричное знание о состоянии и тенденциях сегментов рынка и взаимодействиях контрагентов, так и сознательное отступление от полноты оповещаемой информации, введение в заблуждение партнеров по бизнесу и другие преднамеренные акции вплоть до фальсификации и вбросов лживых сведений в интересах конкретных заказчиков. Многократно растиражированные специальными IT-технологиями в экономическом пространстве, эти шумы способны извратить передаваемую полезную информацию.

В своих пионерских работах по теории связи и информации К. Шеннон аргументировал, что существует зависимость между мощностью передатчика сигнала, полосой его частот, пропускной способностью канала и соотношением «сигнал/шум». Доказано и интерпретировано, что отношение «пропускная способность канала / полоса частот» есть логарифмическая функция от величины отношения «средняя мощность передатчика / мощность шума» [23, с. 34–36].

Математически парадигма К. Шеннона представлена нелинейным выражением следующего вида [24]:

$$C = W \log_2\left(\frac{P+N}{N}\right), \quad (1)$$

где C – пропускная способность канала передачи сигнала (бит/с); W – полоса частот сигнала; P – мощность сигнала; N – мощность шума.

Какие выводы можно сформулировать из этой логарифмической зависимости?

Во-первых, при постоянной пропускной способности C канала передачи информации сокращение полосы частот W возможно при условии доминирования сигнала над шумом (увеличения соотношения $\frac{P}{N}$), вредное влияние которого снижается, и полезный сигнал P искажается в меньшей степени. Видим, что сохранение фиксированной скорости передачи сообщения равнозначно сужению полосы частот сигналов W и уменьшению шума N в канале. И наоборот, если наращивать скорость передачи полезной информации, то с расширением полосы частот W шумы N усиливаются, что «загрязняет» сигнал P.

Сравнение фиксированного широкополосного доступа к интернету в российских организациях по годам показывает рост числа организаций (в процентах от общего их количества) в пользу максимальных скоростей доступа: уменьшение от 35,4 до 31,2 % (скорость 256 Кбит/с – 30,0 Мбит/с) и от 26,2 до 25,8 % (скорость 30,1–100,0 Мбит/с) с увеличением от 12,3 до 15,3 % (скорость свыше 100,0 Мбит/с) в 2022 г. по сравнению с 2021 г. [25, с. 185]. Причем по максимальной скорости передачи данных (свыше 100,0 Мбит/с) в предпринимательском секторе экономики в 2022 г. наша страна с показателем 13 % организаций значительно уступает Дании (85 %), Румынии (77 %), Швеции (77 %), Португалии (76 %), Испании (75 %), утверждают авторы статистического сборника [25, с. 186].

Во-вторых, можно сделать вывод о средней мощности передатчика сообщений. Если его не ограничивать, то пропускная способность канала могла быть бесконечной даже с появлением шума, поскольку остается возможность уловить полезный сигнал. Однако при ограничении мощности передатчика и наличии шума пропускная способность канала становится конечной. Действительно, глобальные источники информации с «прессингом» и массовостью ее распространения способны тотально «настигать» пользователей информации пусть и с искажением содержания, тогда как ограниченные по мощности источники информации на шумовом фоне теряют скорость ее передачи.

В-третьих, отметим уточнение К. Шеннона по поводу полосы частот сигнала и мощности шума согласно выражению (1). С увеличением полосы частот W мощность шума N возрастает пропорционально, а если соотношение «сигнал/шум» $\frac{P}{N}$ велико, то «сокращение полосы очень невыгодно с точки зрения мощности» [23, с. 37]. Речь, по-видимому, идет о том, что при чрезмерно сильном по сравнению с шумом полезном сигнале его передачу может

лимитировать недостаточная мощность передатчика сообщения, и в итоге посылаемый ослабленный радиосигнал ограничит возможности его приема.

Экономически весьма реально: чем больше объем передаваемого потока разнообразной информации, тем больше шума она способна «навлечь», чтобы быть испорченной. Расширение полосы частот вызывает усиление шумового противодействия передаваемой полезной информации. Вместе с тем при маломощном источнике информации даже емкая по количеству информация с шумовым сопровождением будет иметь стесненный для пользователей доступ.

Понятно, что мощность передатчика сообщений имеет экономическое измерение, поскольку непомерное совершенствование передатчика и приемника информации оборачиваются их чрезмерным усложнением и дороговизной. Ввиду этого, по К. Шеннону, должно быть достигнуто «экономическое равновесие» между различными факторами.

Согласно исследованию, опубликованному Cybercrime Journal, если мировые расходы на киберпреступность в 2021 г. составили 6,0 трлн долл. США, то к 2025 г. они достигнут 10,5 трлн долл. США [3]. В 2022 г. в России 41 % организаций использовал средства шифрования, 28 % – резервное копирование данных на носители, находящиеся физически не на территории организации, тогда как для сравнения в Финляндии – 82 % и 62 %, в Германии – 90 % и 54 % соответственно [25, с. 249].

В продолжение анализа поведения хаотизируемой индустриальной системы в возмущенной среде обратимся к энтропийной зависимости эффекта Э ее работы (объема производства продукции, степени выполнения плана производства, производительности и т.п.) от поступившей в систему управляющей информации I. Для этого раскроем связь относительных величин $\frac{Э}{Э_{max}}$ и $\frac{I}{I_0}$, в которых эффект Э соизмеряется с теоретически максимальной величиной $Э_{max}$, а количество введенной информации I – с объемом ее I_0, характерным для данной системы. Схематично нелинейная зависимость между ними, согласно статистической концепции В. А. Трапезникова [7], отображается экспонентой, рост которой к предельному $Э_{max}$ сдерживается неупорядоченностью функционирования системы (рис. 1) [7, с. 50].

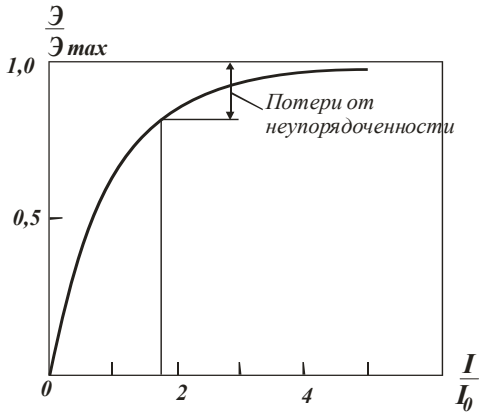

Рис. 1. Зависимость эффективности системы от количества вводимой управляющей информации

Оперируя относительной величиной $\frac{Э}{Э_{max}}$, становится возможным оценить не только полезность управляющей информации для уменьшения энтропии системы и погашения возникающих в ней помех, но и успешность регулирующих воздействий модернизируемого адаптивного менеджмента системы. В связи с этим В. А. Трапезников предложил отношением $\frac{Э}{Э_{max}}$ измерять уровень совершенства управления экономической системой Уу [7], и тем самым получаем

$$Уу = \frac{Э}{Э_{max}}. \quad (2)$$

Примем, что уровень совершенства управления Уу (2) системой будет устойчивым, если, несмотря на оказываемые на нее деструктивные воздействия возмущений, величина Уу остается в допустимом диапазоне значений от нижней $Уу^{н}$ до верхней $Уу^{в}$ границы:

$$Уу^{н} \le Уу \le Уу^{в}.$$

Опуская математические преобразования, приведем искомое энтропийное условие устойчивости уровня совершенства управления Уу индустриальной системой [26]:

$$\ln(1 - Уу^{н})^{-1} \le \frac{I}{I_0} \le \ln(1 - Уу^{в})^{-1}. \quad (3)$$

График на рис. 2 визуализирует нелинейную связь (3) уровня совершенства управления Уу эволюционирующей индустриальной системой и количества введенной в нее управляющей информации I при заданной ее величине I_0 в исходном состоянии. Наряду с этим немаловажно, что динамика уровня совершенства управления Уу (2) индустриальной системой при постоянной величине максимального $Э_{max}$ ($Э_{max}$ = const) определяется достигнутым значением эффекта Э функционирования системы, и, по сути, неравенство (3) выражает также энтропийное условие устойчивости величины эффекта Э при изменении количества управляющей информации I в модернизируемой индустриальной системе.

Первый нелинейный феномен неравенства (3) свойствен экспоненциальной зависимости. Так, сравнивая объемы информации I для интервалов одинаковой длины, но различающихся граничными точками [0,4; 0,5] и [0,8; 0,9], найдем, что во втором случае требуется обеспечить ввод управляющей информации в эволюционирующую индустриальную систему (для нижних пределов $Уу^{н}$ в 1,61:0,51 ≈ 3,16 и верхних пределов в $Уу^{в}$ 2,30:0,69 ≈ 3,33) более чем в три раза.

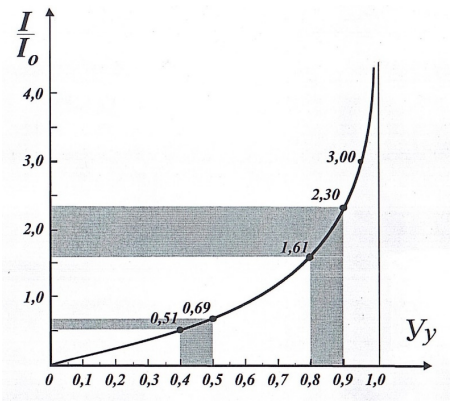

Рис. 2. График нелинейной связи уровня совершенства управления Уу эволюционирующей индустриальной системой и относительной величины $\frac{I}{I_0}$ количества введенной в нее управляющей информации

Словом, задача сохранения устойчивости уровня совершенства управления Уу индустриальной системой по мере его максимизации обязывает наполнять систему экспоненциально нарастающим количеством управляющей информации, а это ведет к масштабной модернизации адаптивного менеджмента индустриальной системой и вновь актуализирует вопрос о пределах экономически целесообразного инвестиционного обеспечения такого инновационного проекта.

Второй нелинейный феномен обнаруживает себя в зависимости показателя совершенства управления эволюционирующей индустриальной системой от уровня порядка в ней, оцениваемому по энтропийной формуле Г. Ферстера [21]. Если в исходном состоянии системы величина ее порядка равна R_0, а после ввода информации стала R, уровень совершенства управления системой определяется по экспоненте отношением $\frac{R}{R_0}$:

$$\text{Уу} = 1 - e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (4)$$

Среди особенностей полученной нелинейной зависимости заслуживает внимания то обстоятельство, что повышение уровня Уу допускает вместе с этим одновременно рост максимальной энтропии при условии наращивания в эволюционирующей системе количества управляющей информации I. Считаем аналитически существенными для приращения алгоритмизации адаптивного управления модернизируемой индустриальной системой полученные и интерпретированные нами энтропийные условие устойчивости уровня совершенства управления системой (3) и зависимость уровня совершенства управления индустриальной системой от мер порядка ее поведения (4).

Третий нелинейный феномен раскрывается качественными выводами математической теории перестроек, которые интерпретируют волнообразную траекторию перестройки экономической системы с движением от одного устойчивого состояния в другое, предпочтительное с точки зрения его

эффекта. По этому поводу В. И. Арнольд замечает: «Привычные методы управления, при которых результаты пропорциональны усилиям, тут не действуют, и нужно вырабатывать специфически нелинейную интуицию, основанную на порой парадоксальных выводах нелинейной теории» [22, с. 100].

Скованная отсталостью технико-технологических ресурсов производства и управления, эволюционирующая индустриальная система в первое время с трудом преодолевает действие консервативных сил и теряет свои экономические преимущества (система «сопротивляется» прогрессу, и вложения в нее еще не дают быстрого ожидаемого эффекта). Однако коренная инновационная модернизация ресурсов и менеджмента сначала постепенно, а затем с ускорением притягивает систему к лучшему устойчивому состоянию. Потребление и материализация наукоемкой информации как в инструментах управления, так и средствах производства позволяют наращивать упорядоченность и эффект функционирования эволюционирующей индустриальной системы, и темп его роста подчиняется нелинейному характеру изменения.

Уместно предположить, что с прогрессом индустриальной системы она переживает метаморфозы стадий хаотизации и упорядочивания своего поведения под воздействием сил инерции, деструктивных и позитивных факторов, поскольку на начальном этапе модернизации предстояло «раскачать» исходное устойчивое состояние системы, а затем в неустойчивом режиме благоприятствующими условиями ресурсного потенциала и адаптивного менеджмента придать вектору ее движения заданное направление к более высокому эффекту, причем перевес позитивных сил над консервативными создает возможности ускоренного «притягивания» к целевому устойчивому состоянию эволюционирующей индустриальной системы.

Заключение

Наступление эпохи продуцирования и освоения цифровых технологий и платформенных решений кардинально преображает облик развития национальной экономики и ее промышленного производства. В богатой палитре выполняемых исследований раскрываются тенденции цифровизации отраслей экономики, природа рисков, положительные и негативные плоды внедрения цифровых инструментов и формулируется правдоподобный вывод о повышении нестабильности и неопределенности деловой среды.

Представленные результаты осмысления фундаментальных понятий энтропии, информации и устойчивости с приложением их для экономических исследований следуют традиции интегрирования концепций и методов естественных и общественных наук. Детерминация влияния энтропийных и информационных процессов на функционирование индустриальных систем составляет теоретическую и практическую ценность для понимания и оценки неопределенности, порядка поведения и организованности этих эволюционирующих систем в хаотических средах. С учетом изложенных выводов дополняется прикладное оснащение адаптивного управления индустриальными системами алгоритмами анализа и регулирования для обеспечения необходимых уровней эффекта и устойчивости функционирования этих систем, возмущаемых потоками технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой промышленности и дестабилизируемых геополитическими и экономическими рисками.

Приоритеты дальнейших исследований по обсуждаемой тематике ориентируют на скрупулезное теоретико-методологическое обоснование феноменов эволюционирующих индустриальных систем под влиянием энтропийных и информационных процессов в нелинейных средах и воздействием беспрецедентных возмущений, генерируемых внезапными и радикальными переменами цифровизируемой бизнес-среды. Доминантами успешного развития страны становятся запуск инновационных драйверов и ускоренный социально-экономический рост с наращиванием инвестиций в основной капитал и вложений в «экономику знаний» [27]. На повестке дня форсированное освоение наукоемкого производства и овладение методами и средствами преодоления барьеров внедрению инновационных технологий и стимулирования изготовления конкурентоспособной промышленной продукции [28]. При этом обстоятельному изучению подлежат процессы глобализации и глокализации в условиях цифровизации, противоречивое влияние ее на экономический прогресс, в частности, продуктовых и процессных инноваций с совершенствованием методик оценки и анализа эффективности результатов их внедрения.

Продвижение в решении исследовательских задач обеспечения адаптации и модернизации эволюционирующих индустриальных систем и управления ими логично ожидать от привлечения к интерпретации их метаморфоз и феноменов принципов и аналитики теорий устойчивости, катастроф, синергетики, нечетких множеств [8, 19–22, 29, 30], средств экономико-математического и компьютерного моделирования.

Список литературы

1. Глазьев С. Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах («Коллекция Изборского клуба»). М. : Книжный мир, 2018. 768 с.
2. Афанасьев М. Ю., Бодрунов С. Д., Дементьев В. Е. [и др.]. Основные направления социально-экономического развития России: обоснование и оценка последствий (по итогам модельных исследований ЦЭМИ РАН). М. : ЦЭМИ РАН, 2023. 116 с.
3. Industry 4.0 Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029). URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market (дата обращения: 20.09.2024).
4. Industry 4.0 Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030) by Technology Type, Vertical and Region (2024). URL: https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-industry-4-0-market/35222/ (дата обращения: 20.09.2024).
5. Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, относящейся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации : [утв. распоряжением Правительства РФ от 7 ноября 2023 г. № 3113-р]. URL: http://static.government.ru/media/files/OwFdjc3nMWk3BqAUbjqdJImPl3NxqRIS.pdf (дата обращения: 20.09.2024).
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М. : Издательство иностранной литературы, 1963. 829 с.
7. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. М. : Наука, 1983. 224 с.
8. Babkin A., Tashenova L., Chuprov S. Management of sustainability and development of systems in the context of the synergetic paradigm // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. CTS 2017.2. 2017. P. 318–321. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109556

9. Khudyakova T., Shmidt A. Methodical approaches to managing the sustainability of enterprises in a variable economy // Espacios. 2018. № 39 (13).
10. Akberdina V., Smirnova O. Innovations in Industry as a Factor of Structural Changes in the Economy: Russian Experience // SHS Web of Conferences. 2021. № 110. P. 01051. doi: 10.1051/shsconf/202111001051
11. Alekseeva N., Babkin A., Makhmudova G., Yung A. Research and Assessment of Innovatively-Active Industrial Cluster Development // Proceedings of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University International Scientific Conference on innovations in digital economy. 2020. № 38. P. 1–6. doi: 10.1145/3444465.3444485
12. Воронцова М. А., Исаева А. Г., Красников А. В. Оценка инновационной активности промышленных предприятий региона в условиях структурных преобразований национальной экономики // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14, № 1. С. 130–140. doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).130-140 EDN: ODUTUJ
13. Хитрова Т. И., Хитрова Е. М., Пешкова О. В. Технологические аспекты концепции формирования единого информационного пространства современного предприятия // Известия Байкальского государственного университета. 2023. Т. 33, № 4. С. 735–743. doi: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743 EDN: TBAJYZ
14. Штиллер М. В., Трушкевич И. М. Нейро-компьютеризация как вызов цифровой экономики // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14, № 1. С. 267–277. doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).267-277 EDN: TRZKDG
15. Больцман Л. Статьи и речи. М. : Наука, 1970. 406 с.
16. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика. М. : Наука, 1982. 584 с.
17. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики. М. : Государственное издательство иностранной литературы, 1947. 146 с.
18. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М. : Наука, 1983. 341 с.
19. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М. : КомКнига, 2005. 296 с.
20. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М. : Мир, 1985. 423 с.
21. Ферстер Г. О самоорганизующихся системах и их окружении // Самоорганизующиеся системы. М. : Мир, 1964. С. 113–139.
22. Арнольд В. И. Теория катастроф. М. : Наука, 1990. 128 с.
23. Шеннон К. Современные достижения теории связи // Информационное общество : сб. М. : АСТ, 2004. С. 23–40.
24. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication // The Bell System Technical Journal. 1948. № 27. P. 379–423, 623–656.
25. Абашкин В. Л., Абдрахманова Г. И., Вишневский К. О. [и др.]. Индикаторы цифровой экономики: 2024 : стат. сб. М. : ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 276 с.
26. Chuprov S. Knowledge in the model of dynamics and stability of an industrial enterprise // Northern Sustainable Development Forum 2020. SHS. Web of Conferences. 2021. № 112. P. 00034. doi: 10.1051/shsconf/202111200034
27. Аганбегян А. Г., Порфирьев Б. Н., Широв А. А. О преодолении текущего кризиса и путях развития экономики России // Научные труды вольного экономического общества России. 2021. Т. 227. С. 193–213. doi: 10.38197/2072-2060-2021-227-1-193-213
28. Шаститко А. Е. К политической экономии научно-технологического развития (на примере России) // Управление наукой: теория и практика. 2021. Т. 3, № 4. С. 51–59. doi: 10.19181/smtp.2021.3.4.6
29. Chuprov S. Industrial enterprise stability management in a globalized economy // International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). Series: Advances in Economics, Business and Management Research. 2020. № 128. P. 1188–1192. doi: 10.2991/aebmr.k.200312.165

30. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.

References

1. Glaz'ev S.Yu. *Ryvok v budushchee. Rossiya v novykh tekhnologicheskom i mirokhozyaystvennom ukladakh («Kollektsiya Izborskogo kluba») = A leap into the future. Russia in new technological and world economic structures ("Collection of the Izborsky Club").* Moscow: Knizhnyy mir, 2018:768. (In Russ.)
2. Afanas'ev M.Yu., Bodrunov S.D., Dement'ev V.E. et al. *Osnovnye napravleniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii: obosnovanie i otsenka posledstviy (po itogam model'nykh issledovaniy TsEMI RAN) = The main directions of socio-economic development of Russia: justification and evaluation of the consequences (based on the results of model studies of the CEMI RAS).* Moscow: TsEMI RAN, 2023:116. (In Russ.)
3. *Industry 4.0 Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029)*. Available at: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market (accessed 20.09.2024).
4. *Industry 4.0 Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030) by Technology Type, Vertical and Region (2024)*. Available at: https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-industry-4-0-market/35222/ (accessed 20.09.2024).
5. Strategic direction in the field of digital transformation of manufacturing industries related to the sphere of activity of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation : [approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated November 7, 2023 No. 3113-r]. (In Russ.). Available at: http://static.government.ru/media/files/OwFdjc3nMWk3BqAUbjqdJImPl3NxqRIS.pdf (accessed 20.09.2024).
6. Shennon K. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike = Works on information theory and cybernetics*. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1963:829. (In Russ.)
7. Trapeznikov V.A. *Upravlenie i nauchno-tekhnicheskiy progress = Management and scientific and technical progress*. Moscow: Nauka, 1983:224. (In Russ.)
8. Babkin A., Tashenova L., Chuprov S. Management of sustainability and development of systems in the context of the synergetic paradigm. *Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. CTS 2017.2*. 2017:318–321. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109556
9. Khudyakova T., Shmidt A. Methodical approaches to managing the sustainability of enterprises in a variable economy. *Espacios*. 2018;(39).
10. Akberdina V., Smirnova O. Innovations in Industry as a Factor of Structural Changes in the Economy: Russian Experience. *SHS Web of Conferences*. 2021;(110):01051. doi: 10.1051/shsconf/202111001051
11. Alekseeva N., Babkin A., Makhmudova G., Yung A. Research and Assessment of Innovatively-Active Industrial Cluster Development. *Proceedings of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University International Scientific Conference on innovations in digital economy*. 2020;(38):1–6. doi: 10.1145/3444465.3444485
12. Vorontsova M.A., Isaeva A.G., Krasnikov A.V. Assessment of the innovative activity of industrial enterprises in the region in the context of structural transformations of the national economy. *Baikal Research Journal*. 2023;14(1):130–140. (In Russ.). doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).130-140 EDN: ODUTUJ
13. Khitrova T.I., Khitrova E.M., Peshkova O.V. Technological aspects of the concept of forming a unified information space of a modern enterprise. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Baikal State University*. 2023; 33(4):735–743. (In Russ.). doi: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743 EDN: TBAJYZ
14. Shtiller M.V., Trushkevich I.M. Neuro-computerization as a challenge to the digital economy. *Baikal Research Journal*. 2023;14(1):267–277. (In Russ.). doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).267-277 EDN: TRZKDG
15. Bol'tsman L. *Stat'i i rechi = Articles and speeches*. Moscow: Nauka, 1970:406. (In Russ.)

16. Gibbs J.W. *Termodinamika. Statisticheskaya mekhanika = Thermodynamics. Statistical mechanics*. Moscow: Nauka, 1982:584. (In Russ.)
17. Shredinger E. *Chto takoe zhizn'? S tochki zreniya fiziki = What is life? From the point of view of physics*. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1947:146. (In Russ.)
18. Viner N. *Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine = Cybernetics, or control and communication in an animal and a machine*. Moscow: Nauka, 1983:341. (In Russ.)
19. Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy = Order from chaos. A new dialogue between man and nature*. Moscow: KomKniga, 2005:296. (In Russ.)
20. Haken H. *Sinergetika: ierarkhii neustoychivostey v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroystvakh = Synergetics: hierarchies of instabilities in self-organizing systems and devices*. Moscow: Mir, 1985:423. (In Russ.)
21. Ferster G. On self-organizing systems and their environment. *Samoorganizuyushchiesya sistemy = Self-organizing systems*. Moscow: Mir, 1964:113–139. (In Russ.)
22. Arnold V.I. *Teoriya katastrof = Theory of catastrophes*. Moscow: Nauka, 1990:128. (In Russ.)
23. Shennon C. Modern achievements of communication theory. *Informatsionnoe obshchestvo: sb. = Information society : coll*. Moscow: AST, 2004:23–40. (In Russ.)
24. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948;(27):379–423,623–656.
25. Abashkin V.L., Abdrakhmanova G.I., Vishnevskiy K.O. et al. *Indikatory tsifrovoy ekonomiki: 2024: stat. sb. = Indicators of the digital economy: 2024 : stat. coll*. Moscow: ISIEZ VShE, 2024:276. (In Russ.)
26. Chuprov S. Knowledge in the model of dynamics and stability of an industrial enterprise. *Northern Sustainable Development Forum 2020. SHS. Web of Conferences*. 2021;(112):00034. doi: 10.1051/shsconf/202111200034
27. Aganbegyan A.G., Porfir'ev B.N., Shirov A.A. On overcoming the current crisis and ways of developing the Russian economy. *Nauchnye trudy vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii = Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2021;227:193–213. (In Russ.). doi: 10.38197/2072-2060-2021-227-1-193-213
28. Shastitko A.E. Towards the political economy of scientific and technological development (on the example of Russia). *Upravlenie naukoy: teoriya i praktika = Management of science: theory and practice*. 2021;3(4):51–59. (In Russ.). doi: 10.19181/smtp.2021.3.4.6
29. Chuprov S. Industrial enterprise stability management in a globalized economy. *International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). Series: Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020;(128):1188–1192. doi: 10.2991/aebmr.k.200312.165
30. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie = Fuzzy modeling and control*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009:798. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Витальевич Чупров
доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры менеджмента и сервиса,
Байкальский государственный университет
(Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 11)
E-mail: ChuprovSV@yandex.ru

Sergey V. Chuprov
Doctor of economical sciences,
professor, professor of the sub-department of management and service,
Baikal State University
(11 Lenin street, Irkutsk, Russia)

Александр Васильевич Бабкин
доктор экономических наук, профессор,
профессор Высшей инженерно-
экономической школы,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29)
E-mail: al-vas@mail.ru

Aleksandr V. Babkin
Doctor of economical sciences, professor,
professor of the higher school
of engineering and economics,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University
(29 Polytechnicheskaya street,
St. Petersburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 05.09.2024
Поступила после рецензирования/Revised 21.09.2024
Принята к публикации/Accepted 22.09.2024