

УДК 658.511

<http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-12-1510-1520>

Энтропийная и информационная парадигмы в концептуализации управления эффектом и устойчивостью функционирования индустриальной системы

Сергей Витальевич Чупров

Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия, ChuprovSV@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8581-9733>

Аннотация

Цель. Концептуализация управления индустриальной системой благодаря привлечению энтропийно-информационных парадигм фундаментальных наук для поддержания необходимых уровней порядка, эффекта, устойчивости этой системы и совершенства управления (по В. А. Трапезникову) ее деятельностью.

Задачи. Интерпретация атрибутов упорядоченности, эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем в возмущенных средах в контексте классических представлений об энтропии, неопределенности, порядке, хаосе поведения систем; введение математической меры негэнтропии («отрицательной энтропии») поведения индустриальной системы как детерминанты (наряду с мерой порядка) эффекта ее функционирования и уровня совершенства управления системой; распространение энтропийной и информационной парадигм на алгоритмизацию адаптивной идентификации и коррекцию параметров модели индустриальной системы в возмущенном экономическом пространстве.

Методология. Методологической базой исследования послужили воззрения и принципы термодинамики, статистической механики, нелинейной динамики, кибернетики, теорий катастроф, информации, организации, экономики и менеджмента предприятия.

Результаты. Определены, формализованы информационные детерминанты эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем в возмущенном окружении. Охарактеризованы нелинейные особенности и устойчивость индустриальной системы, выполнено отыскание выражения для оценки эффекта ее работы на базе мер порядка и негэнтропии поведения этой системы. Проведены поиск и обсуждение математической связи негэнтропии, количества управляющей информации в индустриальной системе и уровня совершенства управления ею. Представлена краткая интерпретация концепции алгоритмизации адаптивной идентификации и коррекции параметров модели индустриальной системы в соответствии с энтропийно-информационной парадигмой.

Выводы. В исследовании раскрыты особенности информационной детерминации показателей эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем в возмущенной экономической среде. Обоснована нелинейная зависимость достигнутого индустриальной системой эффекта от меры порядка ее поведения и исходной негэнтропии системы. Определена математическая связь негэнтропии, количества управляющей информации в индустриальной системе и уровня совершенства управления ею. Результаты исследования углубляют понимание энтропийно-информационных процессов в задаче концептуализации адаптивного управления, идентификации и коррекции параметров модели индустриальной системы в пространстве деструктивных и инновационных возмущений.

Ключевые слова: инновация, информация, порядок, устойчивость, хаос, энтропия, эффект

© Чупров С. В., 2024

Entropy and information paradigms in conceptualizing the management of the effect and stability of the industrial system

Sergey V. Chuprov

Baikal State University, Irkutsk, Russia, ChuprovSV@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8581-9733>

Abstract

Aim. The work aimed to conceptualize the industrial system management through involvement of entropy-information paradigms of fundamental sciences to maintain the necessary levels of order, effect, stability of this system and perfection of management (according to V. A. Trapeznikov) of its activity.

Objectives. The work seeks to interpret the attributes of orderliness, effect and stability of functioning of the industrial systems in disturbed environments in the context of classical ideas about entropy, uncertainty, order, and chaos of system behavior; introduce a mathematical measure of negentropy (negative entropy) of an industrial system behavior as a determinant (along with a measure of order) of the effect of its functioning and the level of the system management perfection. It also seeks to disseminate entropy and information paradigms to the algorithmization of adaptive identification and correction of the parameters of the industrial system model in a disturbed economic space.

Methods. The views and principles of thermodynamics, statistical mechanics, nonlinear dynamics, cybernetics, catastrophe theories, information, organization, economics and enterprise management were used as the study methodological framework.

Results. The information determinants of the effect and stability of industrial systems in a disturbed environment were determined and formalized. Nonlinear features and stability of the industrial system were characterized, an expression was found to assess the effect of its operation based on measures of order and negentropy of this system behavior. A search and discussion of the mathematical relationship between negentropy, the amount of control information in the industrial system and the level of its management perfection were conducted. The work presents a brief interpretation of the concept of algorithmization of adaptive identification and correction of the industrial system model parameters in accordance with the entropy-information paradigm.

Conclusions. The study reveals the aspects of information determination of the indicators of the effect and functioning stability of the industrial systems in a disturbed economic environment. The nonlinear dependence of the effect achieved by the industrial system on the measure of the order of its behavior and the initial negentropy of the system is substantiated. The mathematical relationship between negentropy, the amount of control information in the industrial system and the level of perfection of its management is determined. The study results yield new insights into entropy-information processes in the problem of conceptualizing adaptive control, identifying and correcting the industrial system model parameters in the space of destructive and innovative disturbances.

Keywords: *innovation, information, order, stability, chaos, entropy, effect*

For citation: Chuprov S.V. Entropy and information paradigms in conceptualizing the management of the effect and stability of the industrial system. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2024;30(12): 1510-1520. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-12-1510-1520>

Перипетии освоения перспективного уклада Индустрии 5.0 и цифровизации экономики побуждают аналитиков фокусировать свои исследования на теоретических и прикладных задачах управления эволюцией промышленных структур в радикализирующейся среде деструктивных и инновационных воз-

мущений. Беспрецедентные по гибридным геополитическим, финансово-экономическим и технологическим воздействиям, они спорадически вторгаются в процесс функционирования индустриальных систем и увлекают их в пространство головокружительных перемен. Среди последних — тренды

смещения центров мирового экономического развития, санкционные барьеры межгосударственным потокам товаров и финансов, массированный отток капитала, препятствия импортозамещению зарубежного оборудования, которые уводят отечественную экономику на периферию научно-технического прогресса и становятся основанием обеспечения технологического суверенитета страны.

Между тем необычайно возмущаемая среда испытывает промышленные структуры на способности к сопротивляемости инволюции и восприимчивости к прорывным инновациям, сохранению конкурентных преимуществ с эффективным и устойчивым функционированием индустриальных систем. Проектируемые и модернизируемые адаптивные технологии управления ими наращивались инструментами мониторинга тенденций на товарных рынках, и посредством его снижалась неопределенность экономической ситуации. Согласно информации Росстата, среди факторов, ограничивающих рост производства в обрабатывающих отраслях, неопределенность экономической ситуации, по оценкам респондентов, доминирует, варьируя в подвижных диапазонах: если в 2006 г. у 20–24 % предприятий, то в 2022 г. показатель возрос до пределов 47–61 %, хотя в 2023 г. стабилизировался до 42–47 %. В первой половине 2024 г. он равен 40 %, на втором месте — фактор недостаточного спроса на внутреннем рынке (35–37 %), на третьем — недостатка квалифицированных рабочих (29–32 %) [1].

Источником тревожных ожиданий предпринимателей служит неполнота прогнозной и текущей информации о геополитических и макроэкономических возмущениях, сопутствующих выгодах и ущербах. Так, крен курса правительств недружественных стран на наложение пакетов санкций в торговой и финансовой сфере, осуществляемая Россией географическая диверсификация сопровождаются вытеснением западными компаниями обрабатывающей продукции отечественных товаропроизводителей, что подрывает рост продаж и экспортный потенциал предприятий. Ощутима неопределенность относительно структуры государственных бюджетных расходов на социальные и военные цели и зависимых от них инвестиционных вложений, их эффективности ввиду тотального осложнения внешнеполитической обстановки, а также

усиления администрирования налоговых изъятий, напряженной ситуации на рынке труда и дефицита рабочих кадров.

Познавательную и аналитическую ценность для энтропийно-информационной и нелинейной трактовки эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем представляют парадигмы и количественные методы классиков физики Р. Клаузиуса [2], Л. Больцмана [3], Дж. Гиббса [4], М. Смолуховского [2], Л. Бриллюэна [5], кибернетиков Н. Винера [6] и К. Шеннона [7], математиков А. М. Ляпунова [8] и А. Н. Колмогорова [9], учения которых получили развитие в исследованиях лауреата Нобелевской премии по химии И. Пригожина [10], В. И. Арнольда [11] и др.

В симбиозе с ними находят применение концепции упорядоченности систем, экономики и менеджмента предприятия, изложенные в трудах Г. Фёрстера [12], Г. Хакена [13], В. А. Трапезникова [14], Е. И. Попова и его учеников [15; 16], др. Главенствующее значение приобретают работы, посвященные инновациям, информационной природе цифровизации экономики [17; 18; 19] и адаптации ее промышленного сектора к быстро изменяющейся среде [20; 21].

Результатом системного анализа и синтеза научных парадигм стал обобщенный теоретико-методологический инструментальный достижения цели и выполнения задач проводимого исследования. Сущность обсуждаемой проблемы и замысел ее разрешения определили объектом исследования функционирование индустриальных систем, а предметом исследования — динамичные энтропийно-информационные процессы в этих системах во взаимосвязи с упорядоченностью, эффектом, устойчивостью их деятельности и уровнем совершенства управления системой.

Толкование энтропии и хаоса и их парадигмы наука черпает из фундаментальных исследований о термодинамике и статистической физике. Созданное изысканиями Р. Клаузиуса [2], Л. Больцмана [3], Дж. Гиббса [4], М. Смолуховского [2] учение об энтропии замкнутых систем в настоящее время переросло рамки физических воззрений и стало инструментом статистического изучения поведения экономических систем, их имманентных свойств равновесия и неравновесия, устойчивости и неустойчивости. Благодаря этому, процессы хаотизации структур экономики могут быть подвергнуты

энтропийно-информационному анализу и интерпретированы в терминах беспорядка и неопределенности поведения, измеряемой термодинамической величиной энтропии. Поскольку неупорядоченное функционирование и хаос индустриальной системы суть нарушения согласованного взаимодействия ее подсистем и влекут за собой снижение результативности работы системы, резонно акцентировать внимание в процессе исследования на аргументации влияния энтропии и информации индустриальной системы на эффект и устойчивость ее функционирования.

Поскольку уменьшение энтропии системы равнозначно снижению хаоса в ней, а значит, росту ее упорядоченности и эффекта функционирования, со ссылкой на этот постулат Л. Бриллюэн назвал отрицательную энтропию для краткости негэнтропией [5]. Чем выше неопределенность внутренних состояний системы, тем больше энтропия, а любая дополнительная информация уменьшает энтропию и увеличивает негэнтропию системы. Тем самым, по Л. Бриллюэну, негэнтропия эквивалентна информации, и утверждение о том, что информация есть отрицательный вклад в энтропию, он представил как негэнтропийный принцип информации [5]. К тому же возможна цепь действий со звеньями превращений: негэнтропия → информация → негэнтропия.

Универсальность подобных метаморфоз в системах различной природы склонила к переносу идеи об энтропийных процессах в кибернетику, теорию информации и их приложения. В поиске меры порядка в системе Г. Фёрстер предложил в качестве ее оценки ввести относительную энтропию или показатель для измерения избыточности [12], который он заимствовал у основоположника теории информации К. Шеннона [7]:

$$R = 1 - \frac{H}{H_m} = \frac{H_m - H}{H_m}, \quad (1)$$

где H — энтропия источника информации; H_m — максимально возможная энтропия источника информации.

От краткого рассмотрения парадигмы термодинамики и статистической физики об энтропии перейдем к пояснению ее связи с информацией. Разработано множество методов ее измерения, и «различные виды информации могут быть чрезвычайно разнообразны», как утверждал еще в 1956 г. А. Н. Колмогоров [9, с. 37], описывая ком-

бинаторный, вероятностный и алгоритмический подходы к определению понятия «количество информации» [9, с. 213–223]. К тому же она допускает как вероятностное, так и невероятностное оценивание [22]. Энтропийная мера толкования информации приводит к шенноновскому измерению ее количества: информация отождествляется с устраненной неопределенностью поведения систем и численно равна величине ее уменьшения. Так, если хаотизированная система пребывала в исходном состоянии с максимальной энтропией H_m , то количество извлеченной информации I покажет разность:

$$I = H_m - H. \quad (2)$$

Меру порядка (1) можно вычислить как:

$$R = 1 - \frac{H}{H_m} = \frac{H_m - H}{H_m} = \frac{I}{H_m}. \quad (3)$$

Принимаем без оговорок утверждение о том, что в целевой режим функционирования экономической системы вмешиваются те или иные «раздражения», порождающие аномалии в ее поведении и препятствующие «идеальным» режимам использования ресурсов, уровню эффекта работы системы. Среди них — возмущающие ее деятельность помехи бизнес-среды и индуцированные дисфункциями внутренних производственных и управленческих структур факторы. Вследствие этого, согласно позиции А. М. Ляпунова [8], система сохраняет устойчивость, если при заданном классе возмущений траектория ее движения остается в «трубке» допустимого режима, а величины характеристик системы — в границах указанных для них диапазонов. В противном случае, если они зашкаливают и «выбегают» за пределы допустимых диапазонов, возмущенная система «выходит из себя» и констатируется ее неустойчивость.

В русле тенденции наращивания разработанных передовых производственных технологий в России, их количество в 2023 г. по сравнению с 2015 г. практически удвоилось (увеличилось в 1,97 раза) [23]. Становится очевидным неравномерный темп их продуцирования: преимущественное создание получили технологии производственных информационных систем и автоматизации управления производством (рост в 3,92 раза), существенно прибавили технологии производства, обработки, транспортировки и сборки (рост в 1,70 раз), проектирования

и инжиниринга (рост в 1,14 раза). Между тем технологии связи, управления и геоматики значительно уступали им по приросту и были относительно стабильными с колебанием в интервале 189–316 единиц в год. С позиций адаптивного управления промышленными предприятиями и повышения организованности, эффекта функционирования их структур приоритетная роль принадлежит производственным информационным системам и автоматизации управления производством, которые выше по темпам разработки, чем иные передовые технологии, и агрегируют проектирование, планирование, подготовку процессов производства с движением материальных потоков на предприятии.

Найдем и охарактеризуем в терминах энтропии и информации логичную связь эффекта функционирования индустриальной системы с показателем порядка ее поведения. Поскольку управление направлено на снижение неупорядоченности состояний управляемой системы, ее первоначальная величина B_0 после введения в систему управляющей информации в объеме I уменьшается и становится равной величине B . Приверженный постулатам термодинамики и статистической физики, В. А. Трапезников обосновал зависимость эффекта функционирования экономической системы Θ от количества поступившей в нее управляющей информации I , как видно на рисунке 1 [14, с. 7]:

$$\Theta = \Theta_{\max} (1 - B_0 e^{-\frac{I}{I_0}}), \quad (4)$$

где $\Theta_{\max}$ — эффект идеально функционирующей системы (предельно возможный эффект);

I_0 — объем информации, характерный для данного объекта управления.

Особенность этого выражения состоит в детерминации информационных, негэнтропийных и экономических процессов в системе. Становится понятным, что по мере насыщения ее управляющей информацией вместе с неупорядоченностью уменьшается и хаотизация системы, или, используя язык статистической теории, можно утверждать, что снижается ее энтропия и потому растет негэнтропия системы. Благодаря этому, повышаются согласованность взаимодействий в ней, организованность и эффект работы экономической системы, и наоборот. Кроме того, значима нелинейная зависимость эффекта от количе-

ства накопленной в системе управляющей информации (4): экспоненциальная связь между ними «предупреждает» о том, что с максимизацией количества управляющей информации в системе по прошествии времени наступает замедление темпов роста эффекта ее функционирования.

Между тем экспоненциальная зависимость (4) вводит нелинейность и в свойство поддержания устойчивости заданного эффекта Θ работы индустриальной системы: сохранение устойчивости его уровня в области больших величин достигается несоразмерным увеличением количества поступающей информации, и в пределе $\Theta \rightarrow \Theta_{\max}$ оно возрастает многократно, как показано на рисунке 1. По нашим расчетам, поддержание устойчивого уровня Θ в границах от $0,4 \Theta_{\max}$ до $0,5 \Theta_{\max}$ требует обеспечить ввод в систему количества управляющей информации по сравнению с границами уровня Θ от $0,8 \Theta_{\max}$ до $0,9 \Theta_{\max}$ более, чем в три раза (затемненные горизонтальные полосы на рисунке 1). Точнее, рост в 3,16 раза для нижних пределов ($0,4 \Theta_{\max}$ и $0,8 \Theta_{\max}$), в 3,33 раза — для верхних ($0,5 \Theta_{\max}$ и $0,9 \Theta_{\max}$) пределов эффекта Θ .

Присущая этой закономерности нелинейность специфицирует взвешенный подход к выбору сценария инновационной модернизации индустриальной системы: по экспоненте непомерное наращивание эффекта будет возможным при резко возрастающих вложениях в ресурсное переоснащение индустриальной системы и срока их окупаемости. Значим и тот факт, что, по теории перестроек, о которой писал В. И. Арнольд, переходный процесс смены устойчивых состояний системы с целью улучшения эффекта ее работы подчиняется нелинейной закономерности с неординарными феноменами локальных спадов и подъемов кривой траектории изменения эффекта системы [11, с. 100–102].

Аргументируем далее зависимость эффекта функционирования индустриальной системы Θ от меры порядка ее поведения. Для этого введем его показатель R в приводимое В. А. Трапезниковым выражение [14, с. 51] и, согласно равенству (3) $I = RH_m$, с подстановкой его правой части в упомянутую формулу, найдем искомую зависимость:

$$\Theta = \Theta_{\max} (1 - e^{-\frac{RH_m}{I_0}}). \quad (5)$$

С преобразованием этой формулы для относительного отклонения величины

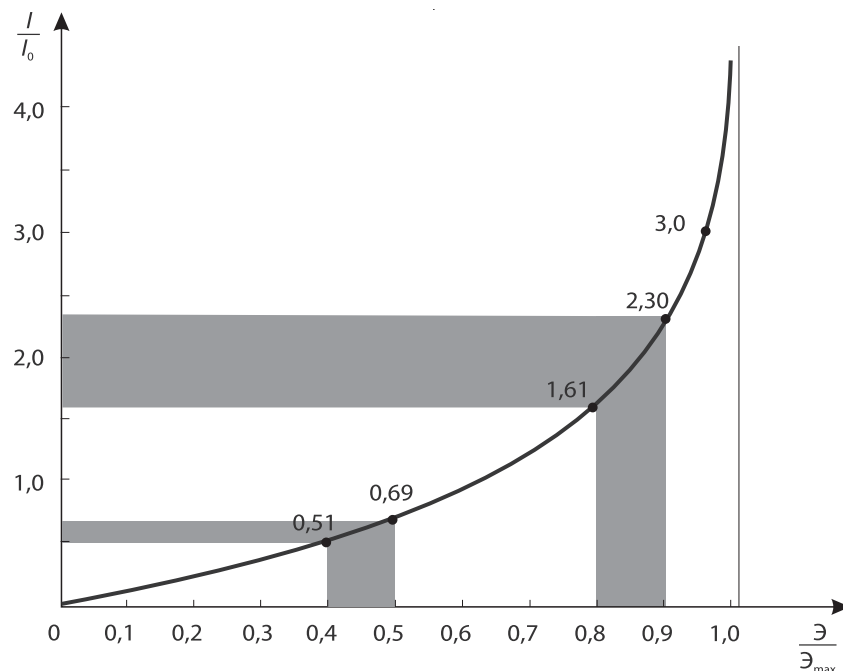


Рис. 1. Зависимость между относительными величинами количества поступившей управляющей информации в индустриальную систему и эффекта ее функционирования

Fig. 1. Relationship between the relative values of the amount of control information received by the industrial system and the effect of its functioning

Источник: разработано автором.

эффекта $\mathcal{E}$ от его максимального значения $\mathcal{E}_{\max}$ у индустриальной системы имеем выражение:

$$\frac{\mathcal{E}_{\max} - \mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}} = e^{-\frac{RH_m}{I_0}}. \quad (6)$$

Обратим внимание на показатель степени $\left(-\frac{RH_m}{I_0}\right)$, а в нем — на соотношение объема начальной (до введения в систему управляющей информации) информации I_0 в системе и ее максимальной энтропии H_m , переписав его в обратном виде как дробь $\frac{I_0}{H_m}$. В статистическом аспекте она отражает характерную для системы негэнтропию, поскольку показывает, какая часть наивысшей неопределенности ее поведения «покрывается» управляющей информацией в ней в «стартовом» состоянии, уменьшая энтропию системы. Назовем эту величину мерой исходной негэнтропии (порядка) и обозначим ее символом R_0 :

$$R_0 = \frac{I_0}{H_m}. \quad (7)$$

С учетом этого для формул (5) и (6) получим равнозначное им равенство:

$$\frac{\mathcal{E}_{\max} - \mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}} = e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (8)$$

Анализ его дает возможность детерминировать и оценить, каким образом уровни порядка поведения R индустриальной системы и ее негэнтропии R_0 влияют на величину эффекта $\mathcal{E}$ по сравнению с предельным $\mathcal{E}_{\max}$. С одной стороны, подтверждается вывод о том, что с нарастанием хаотизации (увеличиваются как H , так и H_m) и тенденцией меры порядка R (3) к уменьшению величина эффекта $\mathcal{E}$ также снижается. С другой стороны, приближение его к граничному $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{\max}$ достигается при $R \gg R_0$. Но, поскольку величина R ограничена единицей ($R \leq 1$), то с вытеснением хаоса и приближением $H \rightarrow 0$ по равенству (2) при $I \rightarrow H_m$ необходимо достичь уменьшения величины R_0 . Данное суждение о неуклонном снижении меры исходной негэнтропии R_0 может выглядеть парадоксальным, если не учитывать, что в комплексе с этим по выражению (3) растет не только максимально возможная энтропия H_m , но и накапливаемая в индустриальной системе управляющая информация I , значительно превышающая I_0 .

В завершение раскроем причинно-следственную связь негэнтропии, количества управляющей информации в индустриальной

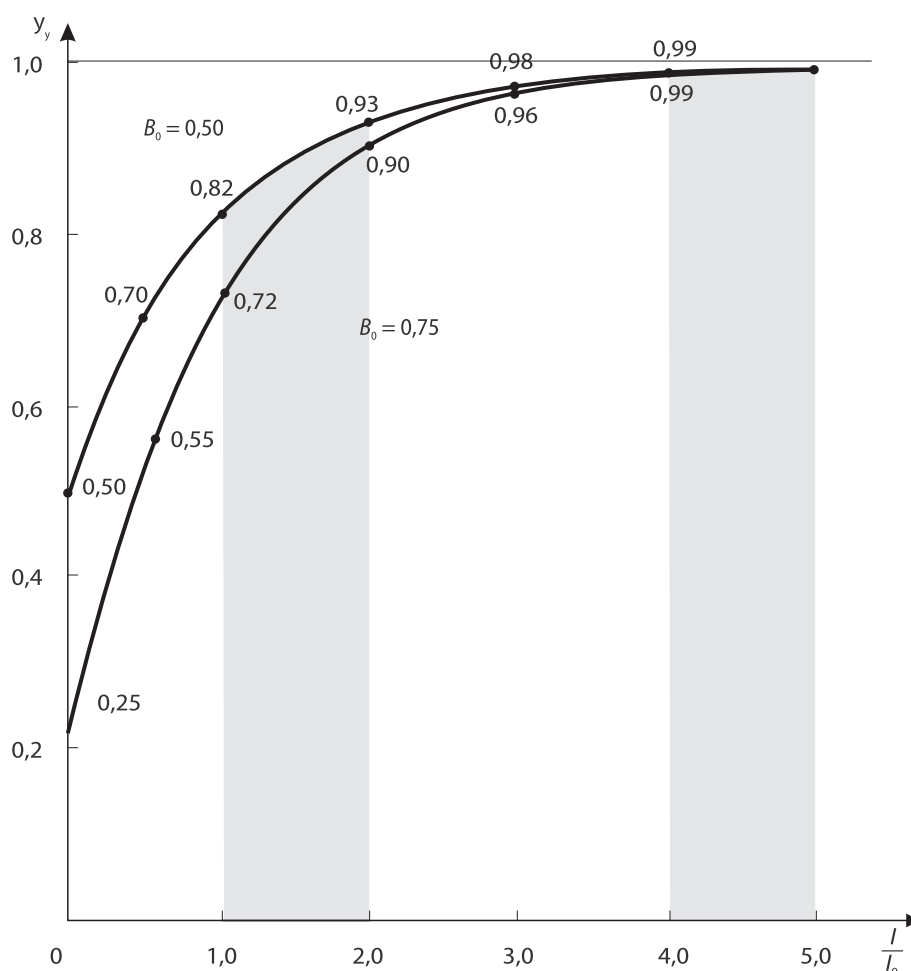


Рис. 2. Зависимость уровня совершенства управления индустриальной системой от относительной величины вводимой в нее управляющей информации

Fig. 2. Dependence of the level of perfection of industrial system management on the relative amount of control information entered into it

Источник: разработано автором.

системе и уровня совершенства управления ею, по В. А. Трапезникову. Правоммерно считать, что отношение $\frac{\Theta}{\Theta_{\max}}$ измеряет степень достижения системой управления предела эффекта функционирования, оценивает успешность менеджмента индустриальной системы. Анализ этого отношения позволяет судить о результативности действия управляющей информации и, согласно концепции В. А. Трапезникова, показывает уровень совершенства управления экономической системой Y_y . Тем самым для последующих выкладок предположим, что уровень совершенства управления экономической системой находим таким отношением [14, с. 51]:

$$Y_y = \frac{\Theta}{\Theta_{\max}}. \quad (9)$$

Визуализация зависимости Y_y от количества вводимой в индустриальную систему управляющей информации I по отношению к ее начальной величине I_0 представлена на рисунке 2.

Возвращаясь к формуле (8), преобразуем ее с учетом (9) к виду:

$$Y_y = 1 - e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (10)$$

Толкование полученного выражения (10) исходит из экспоненциальной зависимости уровня совершенства управления Y_y от мер порядка R_0 и негэнтропии R_0 в системе. В дополнение к предыдущим результатам конкретизируем изменение уровня Y_y как функции характеристик R и R_0 индустриальной системы и прокомментируем частные случаи.

Во-первых, уточним область изменения Y_y : от минимума, равного 0, при нулевой мере порядка в системе (для количества

управляющей информации в системе $I = 0$ и меры порядка $R = 0$ имеем $Y_y = 0$) до предельного значения

$$Y_y = 1 - e^{-\frac{R}{R_0}} \rightarrow 1$$

при максимизируемых $R \rightarrow 1$ и $H_m \rightarrow \max$, при котором мера негэнтропии (7) $R_0 \rightarrow 0$. И в этом случае наблюдаем нетривиальную динамику: уровень порядка $R \rightarrow \max$ и одновременно мера негэнтропии $R_0 \rightarrow \min$ при нарастании и энтропии $H_m \rightarrow \max$, и количества поступающей в систему управляющей информации $I \rightarrow H_m$.

Примером подобной экономической ситуации может служить коренная перестройка деятельности промышленного предприятия в целях освоения изготовления инновационной продукции. С вынужденной растущей хаотизацией и риском утрачивания устойчивости работы предприятия требуется интенсивный ввод управляющей информации, чтобы локализовать или ослабить ее неполноту, возникающие дисфункциональность в работе служб и персонала, паузы в замене производственного оборудования и его оснастки, привязке и апробации новых технологий, непредвиденные перебои в потоках материально-технических, финансовых, информационных и других ресурсов.

Во-вторых, при заданной исходной негэнтропии R_0 с повышением меры порядка R растет и уровень совершенства управления Y_y (10), что отвечает тенденции насыщения системы управляющей информацией I . Речь идет о слабо возмущенной обстановке, в которой проектируются и внедряются управленческие процессы с передачей информации персоналу для погашения случайных отклонений от планового хода производства: сбоев с поступлением сырья, материалов, деталей (узлов и др.), оснастки, выдачи документации, иных аномалий — отступления от технологии и исполнительской дисциплины, отказов магистралей энергетики, оборудования и др.

В-третьих, при постоянной величине меры порядка R и, согласно (1) $\frac{H}{H_m} = \text{const}$, уровень Y_y по (10) повышается с уменьшением меры негэнтропии R_0 (7). Для этого требуется максимизация $H_m \rightarrow \max$. Изложенное означает, что энтропия H системы растет пропорционально H_m , и, поскольку разность между ними (2) сообщает о количестве поступившей управляющей информации I , при этом больше и ее объем

в системе. В такой ситуации стабильность меры порядка R не препятствует росту максимальной энтропии H_m при увеличении в системе количества данной информации I . Тогда мера негэнтропии R_0 уменьшается, и уровень совершенства управления Y_y становится выше.

Хаотизация такого рода свойственна возмущенному функционированию промышленного предприятия, особенно в период разрастания его кризиса: усиление хаоса предприятия диктует необходимость энергичной «накачки» его структур управляющей информацией, чтобы предотвратить потерю устойчивости и необратимую деградацию предприятия. Действиями менеджеров могут быть повышение культуры, улучшение стиля и модернизация технологии управления, наращивание продуцирования потоков управляющей информации, сокращение циклов принятия антикризисных решений и др.

Определение зависимости уровня совершенства управления индустриальной системой от мер ее порядка и негэнтропии, трактовка ряда частных случаев в динамике этих характеристик ориентируют на проведение кропотливого анализа для проектирования адаптивных алгоритмов обеспечения эффекта и устойчивости функционирования промышленных предприятий.

Конструктивным алгоритмом осуществления адаптивного управления индустриальной системой является адаптивная идентификация, назначение которой состоит в уточнении значений идентифицируемых параметров модели системы по мере получения дополнительной информации о ее функционировании [24, с. 104–106]. Процедура идентификации предполагает знание структуры модели и информации об изменении входов и выходов объекта управления, на основании которых формулируется задача отыскания искомым параметров модели этого объекта.

Если обозначить $F(X_i, C_i)$ такую модель с входами X_i и параметрами C_i в i -й момент времени, а поступившую после него новую информацию символом I_{i+1} , то уточнение параметров C_{i+1} будет выражено адаптивным алгоритмом идентификации Φ_a

$$C_{i+1} = \tilde{\Phi}_a(C_i, I_{i+1})$$

или в виде

$$C_{i+1} = C_i + \Phi_a(F(X_{i+1}, C_i), I_{i+1}),$$

где Φ_a — оператор адаптивной идентификации.

В процессе идентификации блок адаптации получает информацию о состоянии среды, объекта управления и его модели, затем вырабатывает сигнал коррекции $\Delta C = \varphi_a(F(X, C), I)$, по которому проводится уточнение параметров модели. Для концептуализации адаптивного управления индустриальной системой при дефиците исходной информации адаптивная идентификация последовательным уточнением параметров алгоритмизирует инструменты разработки управленческих решений в возмущенной экономической ситуации при дрейфе значений параметров.

В кибернетическом контексте коррекция модели индустриальной системы выполняется технологией управления в условиях неполной информации, способной извлечением дополнительных сведений обеспечить приближение параметров математических моделей к неизвестным характеристикам текущего состояния среды и, благодаря этому, придать траектории функционирования системы движение к целевым показателям эффективности ее работы.

Нельзя исключать и того, что тестирование модели с корректировкой ее параметров сведет на нет стремление достичь удовлетворительной точности ее расчетов. Тогда наступает этап модернизации структуры модели и верификации заложенных в ней алгоритма, функций математических зависимостей, усовершенствование которых становится неизбежным в условиях обострений возмущенного окружения индустриальной системы. Неполнота исходной информации, необходимой для успешной модернизации модели, может даже забраковать ее и заставить приступить к выбору или построению новой версии модели.

С «бумом» цифровизации экономики наукоемкое оснащение производства и

управления вызвали к жизни как теоретические, так и прикладные разработки по повышению интеллектуализации моделей с включением схем с «мягкими» вычислениями. Применение их дает возможность вовлекать в процесс моделирования также трудно формализуемые сведения. С учетом этого удастся в некоторой мере восполнить дефицит информации для контуров нечеткого управления в менеджменте промышленных предприятий. Таким образом, энтропийные и информационные парадигмы проливают концепцию управления эффектом и устойчивостью индустриальной системы в пространстве нарастающих деструктивных и инновационных возмущений.

С эрой инновационных технологий Индустрии 5.0 и овладением ее информационно-коммуникационными инструментами расширяется проблемное поле исследований динамики индустриальных систем под влиянием энтропийных и информационных факторов, напора ошеломляющих возмущений, порождаемых пертурбациями мировой и отечественной экономик. Возросшее внимание научного и делового сообществ к развитию адаптивного управления индустриальной системой методами, средствами обеспечения эффекта и устойчивости ее функционирования в нестационарном окружении мотивируют поиск закономерностей, анализ сценариев эволюции нелинейного поведения системы и разработку принципов создания комплексов гибкого управления промышленными предприятиями. Интенсивное развертывание цифровой трансформации современной экономики и продвижение алгоритмов «умных» технологий формируют благоприятные условия для интеллектуализации адаптивного управления индустриальными системами в среде кардинальных мирохозяйственных и научно-технических преобразований.

Список источников

1. Опережающие индикаторы по видам экономической деятельности // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: https://rosstat.gov.ru/leading_indicators (дата обращения: 05.11.2024).
2. Второе начало термодинамики / С. Карно, У. Томсон (лорд Кельвин), Р. Клаузиус [и др.] / пер. с фр., англ., нем. М.: URSS, 2014. 312 с.
3. Больцман Л. Статьи и речи / пер. с нем. М.: Наука, 1970. 406 с.
4. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика / пер. с англ. М.: Наука, 1982. 584 с.
5. Brillouin L. Scientific uncertainty and information. New York: Academic Press, 1964. 164 p.
6. Wiener N. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. New York: John Wiley & Sons, Inc.; Paris: Hermann et Cie, 1948. 194 p.
7. Shannon C. E. A mathematical theory of communication // The Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. No. 3. P. 379–423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

8. Ляпунов А. М. Избранные труды: работы по теории устойчивости. М.: Наука, 2007. 574 с.
9. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 303 с.
10. Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos: Man's new dialogue with nature. Toronto, New York: Bantam Books, Inc., 1984. 349 p.
11. Арнольд В. И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
12. Förster H. Self-organizing systems and their environments // Self-organizing systems / eds. M. C. Yovitz, S. Cameron. Oxford: Pergamon Press, 1960. P. 31–50.
13. Haken H. Advanced synergetics: Instability hierarchies of self-organizing systems and devices. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1983. 356 p. DOI: 10.1007/978-3-642-45553-7
14. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. М.: Наука, 1983. 224 с.
15. Гришина Н. А., Попов Е. И., Сатановский Р. Л. Развитие эффективной организации и управления производством. Иркутск: Иркутский политехнический институт, 1991. 59 с.
16. Chuprov S. Self-organization and adaptation of industrial economic systems in dynamics of its entropy-information processes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272. No. 3. Article 032199. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032199
17. Глухов В. В., Бабкин А. В., Шкарунета Е. В. Цифровое стратегирование промышленных систем на основе устойчивых экоинновационных и циркулярных бизнес-моделей в условиях перехода к Индустрии 5.0 // Экономика и управление. 2022. Т. 28. № 10. С. 1006–1020. DOI: 10.35854/1998-1627-2022-10-1006-1020
18. 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
19. Ануфриева А. А., Краснодубская К. С. Цифровая трансформация и оценка «цифровой зрелости» системы государственного управления субъекта Российской Федерации // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14. № 3. С. 1069–1086. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(3).1069-1086
20. Чупров С. В. Адаптивность системы управления устойчивостью и инновационным развитием промышленного предприятия // Организатор производства. 2018. Т. 26. № 1. С. 23–33. DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-23-33
21. Глинский В. В., Фрейдина Е. В., Серга Л. К. Адаптация и координация – взаимосвязанные процессы управления изменениями // Известия Байкальского государственного университета. 2024. Т. 34. № 2. С. 216–231. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(2).216-231
22. Чупров С. В. Дуализм методов измерения информации в аналитике промышленного менеджмента // Известия Байкальского государственного университета. 2022. Т. 32. № 2. С. 358–365. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(2).358-365
23. Производственные технологии. Наука, инновации и технологии // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (дата обращения: 05.11.2024).
24. Растринин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Советское радио, 1980. 232 с.

References

1. Leading indicators by types of economic activity. Federal State Statistics Service (Rosstat). URL: https://rosstat.gov.ru/leading_indicators (accessed on 05.11.2024). (In Russ.).
2. Carnot S., Thomson W. (lord Kelvin), Clausius R. et al. The second law of thermodynamics. Transl. from French, Eng., German. Moscow: URSS; 2014. 312 p. (In Russ.).
3. Boltzmann L. Articles and speeches. Transl. from German. Moscow: Nauka; 1970. 406 p. (In Russ.).
4. Gibbs J.W. On the equilibrium of heterogeneous substances. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. 1874-1878, vol. 3, pp. 108-248; 343-524.; Gibbs J.W. Elementary principles in statistical mechanics, developed with especial reference to the rational foundation of thermodynamics. New York: Charles Scribner's Sons, London: Edward Arnold; 1902. 207 p. (Russ. ed.: Gibbs J.W. Термодинамика. Statisticheskaya mekhanika. Moscow: Nauka; 1982. 584 p).
5. Brillouin L. Scientific uncertainty and information. New York, NY: Academic Press; 1964. 164 p.
6. Wiener N. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. New York: John Wiley & Sons, Inc.; Paris: Hermann et Cie; 1948. 194 p.
7. Shannon C.E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948;27(3):379-423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
8. Lyapunov A.M. Selected works: Works on stability theory. Moscow: Nauka; 2007. 574 p. (In Russ.).

9. Kolmogorov A.N. Information theory and theory of algorithms. Moscow: Nauka; 1987. 303 p. (In Russ.).
10. Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos: Man's new dialogue with nature. Toronto, New York: Bantam Books, Inc.; 1984. 349 p.
11. Arnol'd V.I. Catastrophe theory. Moscow: Nauka; 1990. 128 p. (In Russ.).
12. Förster H. von. Self-organizing systems and their environments. In: Yovitz M.C., Cameron S., eds. Self-organizing systems. Oxford: Pergamon Press; 1960:31-50.
13. Haken H. Advanced synergetics: Instability hierarchies of self-organizing systems and devices. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 1983. 356 p. DOI: 10.1007/978-3-642-45553-7
14. Trapeznikov V.A. Management and scientific and technological progress. Moscow: Nauka; 1983. 224 p. (In Russ.).
15. Grishina N.A., Popov E.I., Satanovskii R.L. Development of effective organization and management of production. Irkutsk: Irkutsk Polytechnic Institute; 1991. 59 p. (In Russ.).
16. Chuprov S. Self-organization and adaptation of industrial economic systems in dynamics of its entropy-information processes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;272(3):032199. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032199
17. Glukhov V.V., Babkin A.V., Shkarupeta E.V. Digital strategizing of industrial systems based on sustainable eco-innovation and circular business models in the context of the transition to Industry 5.0. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2022;28(10):1006-1020. (In Russ.). DOI: 10.35854/1998-1627-2022-10-1006-1020
18. Khitrova T.I., Khitrova E.M., Peshkova O.V. Technological aspects of the concept of forming a single information space of a modern enterprise. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*. 2023;33(4):735-743. (In Russ.). DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743
19. Anufrieva A.A., Krasnodubskaya K.S. Digital transformation and assessment of the Russian Federation region public administration system's "digital maturity". *Baikal Research Journal*. 2023;14(3):1069-1086. (In Russ.). DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(3).1069-1086
20. Chuprov S.V. Adaptivity of the management system of stability and innovative development of industrial enterprise. *Organizator proizvodstva = Organizer of Production*. 2018;26(1):23-33. (In Russ.). DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-23-33
21. Glinitsky V.V., Freidina E.V., Serga L.K. Adaptation and coordination – interrelated change management processes. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*. 2024;34(2):216-231. (In Russ.). DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(2).216-231
22. Chuprov S.V. The dualism of information measurement methods in industrial analytics management. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*. 2022;32(2):358-365. (In Russ.). DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(2).358-365
23. Production technologies. Science, innovation and technology. Federal State Statistics Service (Rosstat). URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (accessed on 05.11.2024). (In Russ.).
24. Rastrigin L.A. Modern principles of complex objects management. Moscow: Sovetskoe radio; 1980. 232 p. (In Russ.).

Сведения об авторе

Сергей Витальевич Чупров

доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры менеджмента
и сервиса

Байкальский государственный университет
664003, Иркутск, Ленина ул., д. 11

Поступила в редакцию 12.12.2024
Прошла рецензирование 09.01.2025
Подписана в печать 23.01.2025

Information about the author

Sergey V. Chuprov

D.Sc. in Economics, Professor,
Professor at the Department of Management
and Service

Baikal State University
11 Lenin st., Irkutsk 664003, Russia

Received 12.12.2024
Revised 09.01.2025
Accepted 23.01.2025

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.