

Научная статья

УДК 65.011.4:330.47

EDN HHLFRC

DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(4).638-647



ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И СОВЕРШЕНСТВО УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В АКСИОМАТИКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ

С.В. Чупров

Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
27 сентября 2024 г.

Дата принятия к печати
17 декабря 2024 г.

Дата онлайн-размещения
25 декабря 2024 г.

Ключевые слова

Инновация; информация;
управление; уровень знаний;
устойчивость; энтропия;
эффект

Аннотация

Цифровая трансформация экономики и тренды ее интеллектуализации востребовали симбиоз естественно-научных и общественных учений для разработки теоретико-методологического и прикладного оснащения адаптивного управления индустриальной системой в нестационарной среде экономических и технологических возмущений. С проектированием инструментов обеспечения эффективного и устойчивого функционирования таких систем в бурном пространстве логичным выглядит обращение к фундаментальным воззрениям о закономерностях и моделям поведения макросистем в их взаимодействии со своим окружением. Благодаря этому реализуем замысел исследования — аргументация привлечения энтропийно-информационной парадигмы для аналитики процессов интеллектуализации и совершенства управления (по В.А. Трапезникову) функционированием эволюционирующей в инновационном пространстве индустриальной системы. В статье на базе аксиоматики информационной энтропии представлены анализ и толкование зависимости эффекта работы этой системы от количества поступившей в нее управляющей информации, формализованной связи последней с уровнем совершенства управления и устойчивостью системы и присущему ей уровню знаний.

Original article

INTELLECTUALIZATION AND MANAGEMENT IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL SYSTEM FUNCTIONING IN AXIOMATICS OF INFORMATION ENTROPY

Sergey V. Chuprov

Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received
September 27, 2024

Accepted
December 17, 2024

Available online
December 25, 2024

Abstract

The digital transformation of the economy and trends in its intellectualization have required a symbiosis of natural science and social teachings to develop theoretical, methodological and applied equipment for adaptive management of an industrial system in a non-stationary environment of economic and technological disturbances. With the design of tools to ensure the effective and stable functioning of such systems in a turbulent space, it seems logical to turn to fundamental views on the patterns and models of the behavior of macrosystems in their interaction with their environment.

Keywords

Innovation; information;
management; level of knowledge;
stability; entropy; effect

Thanks to this, we implement the concept of the study — argumentation of the involvement of the entropy-information paradigm for the analysis of the processes of intellectualization and perfection of management (according to V.A. Trapeznikov) of the functioning of an industrial system evolving in the innovation space. The article, based on the axiomatics of information entropy, presents an analysis and interpretation of the dependence of the effect of this system on the amount of control information received by it, a formalized connection of the latter with the level of management improvement and the stability of the system and the level of knowledge inherent in it.

Введение

Становление цифровизируемой экономики и овладение ее инструментарием придают импульс исследованиям по широкому спектру научных отраслей знаний, среди которых классические учения по кибернетике и теории информации, теоретические и прикладные разработки по информационно-коммуникационным технологиям. Если первые составляют фундаментальные начала формирования информационных концепций, опираясь на наследие основоположников термодинамики и статистической физики, то вторые воплощают оригинальные инновации ИТ-проектировщиков в наукоемких продуктах. Подобный междисциплинарный охват позволяет выполнить оценку и анализ воздействия энтропийно-информационных процессов на интеллектуализацию и эффект управления работой индустриальной системы.

Статистическое моделирование динамики этих процессов обнаруживает характер и меру влияния управляющей информации на совершенство управления системой и уровень накопленных в ней знаний, создавая предпосылки для обеспечения устойчивости и конкурентоспособности промышленных структур в вихревой среде внешних угроз и цифровой трансформации отечественной индустрии.

Цель и задачи исследования

Цель исследования направлена на распознавание и интерпретацию зависимости эффекта, уровня знаний, устойчивости и совершенства управления (по В.А. Трапезникову) функционированием индустриальной системы от аккумулированной в ней управляющей информации с привлечением естественно-научных постулатов в сфере энтропийно-информационного толкования процессов в диссипативных системах. Ввиду этого задача исследования заключается в определении математических выражений связи между релевантными статистическими характеристиками системы и их анализе для применения в алгоритмах адаптивного управления промышленными предприятиями в

пространстве, возмущаемом деструктивными факторами и потоками технологических и продуктовых инноваций.

Методология исследования

Достижение цели исследования предполагает комплементацию естественных и экономических наук, взаимодополнение и синтез которых позволяет избежать фрагментарности аналитической работы и придать ей достаточную полноту. Применение воззрений и методов термодинамики, статистической физики, кибернетики, теорий информации, организации и устойчивости и экономического анализа дает ключ к объективизации исследования причинно-следственных связей энтропийно-информационных процессов и интеллектуальной среды индустриальной системы, в частности, неупорядоченности, эффекта и устойчивости ее функционирования и уровня знаний в ней под углом зрения оценивания совершенства управления этой системой.

Методологию исследования образуют системные концепции динамики макросистем [1–3], питаемые принципами и аналитикой кибернетики [4–6] и теории информации [7–9].

Полученные результаты

Откликом на вызовы и перспективы инновационной экономики стало фокусирование исследователей на конструировании ее теоретико-методологического инструментария в среде переживаемых глобальных политических, технологических и экономических перестроек. Констатируя богатую гамму проводимых исследований по проблематике зарождающегося технологического уклада и цифровизации российской экономики, актуальны для научного и делового сообщества тематики обеспечения технологического суверенитета России [10], обоснования теоретических положений программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0 [11], выяснения сущности цифровой трансформации [12], оценки степени влияния инфокоммуникационных технологий на экономиче-

ское развитие [13], цифровизации экономики субъектов малого предпринимательства [14], выяснения роли человеческого потенциала в сфере образования в формировании цифровой экономики [15], мотивационной детерминации системы отношений интеллектуальной собственности и инновационной активности личности [16] и др.

В ряду впечатляющих источников и успехов научно-технического прогресса недавних десятилетий отметим революционизирующее влияние информационно-коммуникационных технологий на развитие экономики, которое ускоряет перенос и освоение интенсивно нарастающих знаний, преобразуя структуру и функции экономических систем и интеллектуализируя инструментарий процессов производства и управления. Продвижение когнитивных инноваций оставляет в прошлом рутину документального сопровождения этапов следования изделий от их создания до обмена и потребления, расширяет круг традиционных приложений (офисный пакет программ, электронная коммерция, платежные и поисковые сервисы и др.) и вторгается в область разработки и принятия нетривиальных, «умных» («мозгоподобных») решений.

Понятие знания в этом отношении семантически определяется как совокупность данных и информации, которые с учетом экспертного мнения, профессиональных навыков и опыта приводят к появлению ценного актива, полезного принятию управленческого решения¹. Испытывая влияние технологических и организационных инноваций, с переосмыслением и модернизацией модельный аппарат менеджмента предприятий повышает свою эвристическую оснащенность и аналитическую функциональность.

В духе статистической парадигмы [1; 2; 7; 8] подверженной случайным воздействиям макросистеме имманентно свойственна мера энтропии и неопределенности ее поведения. Уже в пионерских работах по термодинамике и статистической механике оперировали понятием устойчивости равновесия материальной системы, изолированной от внешних раздражителей. Мы знаем, что Л. Больцман раскрыл закономерность движения всякой замкнутой системы к конечному состоянию с максимальной энтропией, и в результате необратимого процесса оно станет равновес-

ным, а Дж. Гиббс показал, при каких условиях достигается устойчивое, безразличное и неустойчивое равновесие такой системы.

Обобщая, аксиоматику информационной энтропии сформулируем следующими положениями:

1. Энтропия в приложении к макросистеме ассоциируется со степенью неупорядоченности ее поведения, исходя из постулата Э. Шредингера, что отрицательная энтропия есть упорядоченность [3, с. 105].

2. По теории информации К. Шеннона энтропия является мерой неопределенности, и ее динамика в системе влечет за собой изменение количества полученной или введенной в нее информации [7].

3. В соответствии с негэнтропийным принципом информации Л. Бриллюэна «информация представляет собой отрицательный вклад в энтропию» [8, с. 34].

4. Согласно А.Н. Колмогорову, «по первоначальному замыслу «информация» не есть скалярная величина. Различные виды информации могут быть чрезвычайно разнообразны» [9, с. 17].

5. Количество информации в системе, полагал Н. Винер, есть мера ее организованности, тогда как энтропия системы — мера ее дезорганизованности [4, с. 56].

6. Процессы управления, резюмирует А.И. Берг, едины в том смысле, что характеризуются точной количественной мерой — уменьшением энтропии [5, с. 5].

7. Управление — это борьба за упорядоченность, и по модели В.А. Трапезникова эффект работы управляемого комплекса статистически определяется неупорядоченностью его поведения и количеством введенной в него управляющей информации [6, с. 14].

Немаловажно, что в исследованиях процессов управления в экономике информация признается не только в виде накапливаемых обществом знаний и управляющей информации, циркулирующей по каналам передачи от источника до ее пользователя и снижающей неопределенность (энтропию) функционирования управляемых комплексов, но и в виде материализованной наукоемкой информации (изобретений, технологических инноваций и др.) в технических средствах и продуктах производства².

¹ГОСТ Р 54875-2011. Менеджмент знаний. Руководство по устоявшейся практике внедрения системы менеджмента знаний : утв. и введен приказом Ростандарта от 22 дек. 2011 г. № 1601-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102255>.

²К слову, известно, что уже К. Маркс рассуждал о зависимости богатства от «общего уровня науки и от прогресса техники, или от применения этой науки к производству» [17, с. 213], об овеществленных в машинах знаниях, изобретениях как особой профессии и превращении всеобщего общественного знания в непосредственную производительную силу [17, с. 212, 215].

Сошлемся на пример микроэлектроники как на иллюстрацию внедрения инноваций и интеллектуального капитала в технологию изготовления интегральных схем [18]. Очевидно, что их инженерии предшествовали открытия физиков, конструкторов, технологов, что обеспечило первенство в промышленном производстве электронных компонентов. При этом инновации овеществлялись как в отдельных элементах (миниатюрных резисторах, конденсаторах, катушках индуктивности и др.), так и в схемах их коммутации, которая стала реализацией изобретательской мысли.

Традиционные приемы компоновки и монтажа приборов в начале 90-х гг. прошлого века уступили новым физико-химическим методам: выращиванию монокристаллов, эпитаксии, плазмохимической, ионно-лучевой обработке и др. Тем самым технология производства микроэлектронных приборов тоже «интеллектуализируется», вбирая в себя ноу-хау передовых идей и образуя собой перспективную наукоемкую деятельность. Конструкторско-технологический «переворот» в микроэлектронике нашел отражение в кардинальном усложнении структуры интегральных схем: повышение плотности размещения элементов и уменьшение их размеров позволило сосредоточить в них более миллиона элементов на кристалл и увеличить число производимых ими операций, приведенных к площади интегральных схем.

Материализованная в ходе проектирования и изготовления интегральных схем конструкторско-технологическая информация дала возможность далеко отодвинуть ее емкостный предел и записать на одной интегральной схеме около миллиарда бит информации. Микропроцессор со стороной 1,8 см уже имел 8 млн транзисторов, и в 2004 г. началось производство микропроцессоров на интегральных схемах с литографическим размером 0,065 мкм [19, с. 236].

С позиций статистической физики зависимость эффекта \mathcal{E} функционирования управляемого комплекса от количества I поступившей в него управляющей информации выражается экспоненциальной моделью акад. В.А. Трапезникова [6, с. 14]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \left(1 - B_0 e^{-\frac{I}{I_0}} \right), \quad (1)$$

где \mathcal{E}_{\max} — эффект идеально работающего комплекса; B_0 — неупорядоченность комплекса в его исходном состоянии; I_0 — объем информации, характерный для данного комплекса.

Визуализация нелинейной зависимости эффекта управляемого комплекса от количества управляющей информации в нем (1) представлена на рис. 1. На нем часть информации вводится в комплекс человеком-оператором (i), а другая (I_y) — системой управления.

Вследствие неупорядоченности состояний B управляемого комплекса его функционирование отклоняется от предельного режима с граничной величиной \mathcal{E}_{\max} и величина $B < 1$.

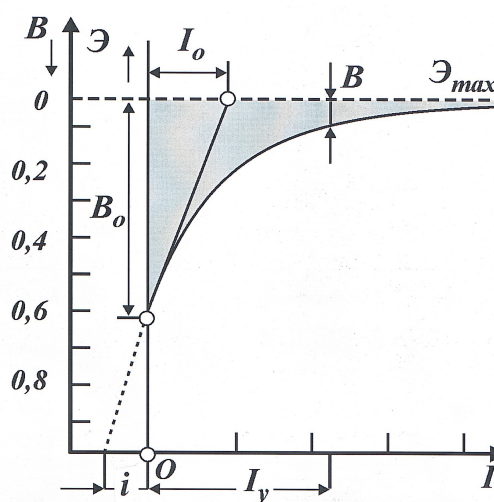


Рис. 1. Эффект управляемого комплекса в зависимости от количества в нем управляющей информации [20, с. 8]

Связываемая с хаотизацией поведения комплекса, неупорядоченность его служит реакцией на разного рода возникающие в комплексе досадные аномалии — случайные возмущения из-за непредвиденных перебоев в обеспечении ресурсами, простоев оборудования и персонала, нарушения технологической и исполнительской дисциплины, отказов техники, рассогласования в принятии решений и др.

Уместно для аналитики поведения индустриальной системы провести сравнение текущего значения эффекта \mathcal{E} ее работы с теоретически максимальным пределом \mathcal{E}_{\max} . Опирируя относительной величиной $\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}}$, можно оценить не только действенность управляющей информации для уменьшения энтропии системы и погашения в ней помех, но и успешность регулирующих воздействий созданного и развиваемого менеджмента эволюционирующей системы. В концепции В.А. Трапезникова отношение $\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}}$ сообщает об уровне совершенства управления системой Уу [21, с. 25]. Его

величина определяется количеством вводимой в систему информации и ее полезностью, каузальной с «интеллектуальной зрелостью» устройств и программного обеспечения сбора, переработки и способностью управлять системой, и потому обозначим:

$$y_y = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}}. \quad (2)$$

И, как уже отмечалось, с монотонным ростом количества управляющей информации I в управляемом комплексе кривая (ее верхняя ветвь на рис. 1) эффекта его функционирования \mathcal{E} асимптотически приближается к прямой \mathcal{E}_{\max} , ввиду чего величина уровня Y_y по отношению (2) ограничена единицей: $Y_y < 1,0$.

Формализуем зависимость количества управляющей информации I в промышленной системе от уровня Y_y совершенства управления ею. Опуская математические выкладки, приведем окончательный вид выражения [22]:

$$I = I_0 \ln\left(\frac{B_0}{1 - Y_y}\right). \quad (3)$$

Экспоненциальный характер модели (1) возвращает нас к нелинейной логарифмической зависимости (3) количества управляющей информации I , вводимой в промышленную систему, от величины неупорядоченности B_0 ее поведения и уровня совершенства управления Y_y этой системой со следующими табличными значениями при $B_0 = 0,25$, $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$ (табл.).

По данным таблицы и рис. 2 просматриваются нюансы нелинейного (3) влияния неупорядоченности поведения B_0 промышленной системой и вводимой в нее управляющей информации I на уровень совершенства управления Y_y этой системой при $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$.

По кривой графика видим, что отличительная черта влияния нелинейности зависимости (3) в том, что с ростом величины I повышение уровня Y_y теряет темп (см. рис. 2), причем при этой тенденции добавление на $\frac{I}{I_0}$ (например, смещение с диапазона $1,0 \div 2,0$ до $4,0 \div 5,0$) уменьшает приращение уровня Y_y .

В теоретическом и практическом отношениях ценным является поиск условия, при котором эффект \mathcal{E} функционирования промышленной системы вместе с уровнем совершенства управления ею Y_y (2) будет устойчивым, несмотря на оказываемые на систему деструктивные воздействия, способные поколебать расчетный режим ее работы.

Уровень совершенства управления промышленной системой в зависимости от величины неупорядоченности ее поведения и количества вводимой в нее управляющей информации при $B_0 = 0,25$, $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$

$\frac{I}{I_0}$	Y_y при $B_0 = 0,25$	Y_y при $B_0 = 0,50$	Y_y при $B_0 = 0,75$
0,0	0,7500	0,5000	0,2500
0,1	0,7738	0,5476	0,3214
0,2	0,7953	0,5907	0,3860
0,3	0,8148	0,6296	0,4444
0,4	0,8324	0,6649	0,4973
0,5	0,8484	0,6968	0,5451
0,6	0,8628	0,7256	0,5884
0,7	0,8759	0,7517	0,6276
0,8	0,8877	0,7754	0,6630
0,9	0,8984	0,7967	0,6951
1,0	0,9080	0,8161	0,7241
1,5	0,9442	0,8885	0,8327
2,0	0,9662	0,9324	0,8985
2,5	0,9795	0,9590	0,9384
3,0	0,9876	0,9751	0,9627
3,5	0,9925	0,9849	0,9774
4,0	0,9954	0,9909	0,9863
4,5	0,9972	0,9945	0,9917
5,0	0,9983	0,9966	0,9949

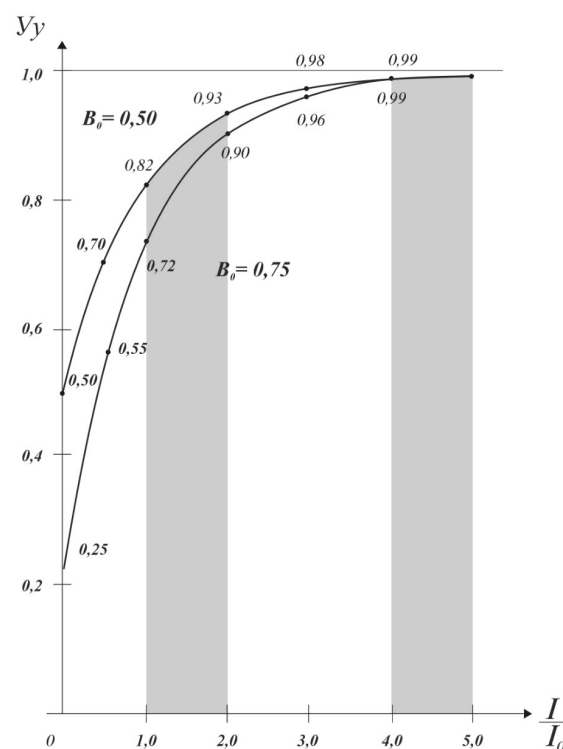


Рис. 2. Нелинейная зависимость уровня совершенства управления Y_y промышленной системой от неупорядоченности ее поведения и вводимой в нее управляющей информации при $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$

Примем, что величина уровня $Уу$ сохраняет устойчивость, если его переменная величина остается в допустимом диапазоне значений от нижней $Уу^H$ до верхней $Уу^B$ границы:

$$Уу^H \leq У \leq Уу^B.$$

По этим соображениям без доказательства представим искомое условие устойчивости уровня совершенства управления индустриальной системой $Уу$ [23]:

$$\ln(1 - Уу^H)^{-1} \leq \frac{I}{I_0} \leq \ln(1 - Уу^B)^{-1}. \quad (4)$$

Таким образом, для поддержания устойчивого уровня совершенства управления $Уу$ в заданном интервале $[Уу^H; Уу^B]$ относительный показатель $\frac{I}{I_0}$ количества управляющей информации в индустриальной системе должен удовлетворять неравенству (4).

Принимая во внимание, что динамика уровня совершенства управления $Уу$ (2) индустриальной системой при постоянстве максимально возможного эффекта \mathcal{E}_{\max} ($\mathcal{E}_{\max} = \text{const}$) определяется достигнутой величиной эффекта \mathcal{E} функционирования системы, по сути, неравенство (4) выражает также статистическое условие устойчивости величины эффекта \mathcal{E} при изменении количества управляющей информации I в индустриальной системе.

Обсуждение результатов

Проведем интерпретацию предложенных выше результатов, вытекающих из нелинейной зависимости уровня совершенства управления эволюционирующей индустриальной системы от неупорядоченности ее поведения и накопленной в ней управляющей информации. Анализ равенства (3) дает основание для следующих суждений:

1. Чем меньше исходная неупорядоченность B_0 индустриальной системы, тем лучше она организована и при прочих равных условиях ее уровень $Уу$ ожидаемо выше. В частности, при $I = 2I_0$ величина $Уу = 0,9662$ при $B_0 = 0,25$ больше, чем при $B_0 = 0,50$ ($Уу = 0,9324$) и $B_0 = 0,75$ ($Уу = 0,8985$).

2. Парадоксально, но с увеличением значения B_0 темп роста показателя $Уу$ превосходит его значение при меньших значениях B_0 . Сравнивая динамику $Уу$ при $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$, видим, что при удвоении количества поступившей информации (с $I = I_0$ до $I = 2I_0$) приращение $Уу$ в первом случае составляет 14,3 %, тогда как во втором — 24,1 %. При этом с наращиванием объема вводимой в

систему информации с $I = 2I_0$ до $I = 3I_0$ опережение прироста $Уу$ при $B_0 = 0,75$ остается.

3. Вместе с тем бросается в глаза занятая особенность экспоненты: налицо сближение уровней $Уу$ по мере насыщения системы управляющей информацией (см. рис. 2). По достижении $I = 4,5I_0$ и далее показатели $Уу$ почти совпадают (с точностью до второго знака после запятой) независимо от величины неупорядоченности B_0 поведения системы (см. табл.) при $B_0 = 0,25$, $B_0 = 0,50$ и $B_0 = 0,75$.

Введем характеристику, противоположную по смыслу уровню совершенства управления индустриальной системой $Уу$ (2) и с некоторым приближением (напомним, $Уу < 1$) определяемую формулой:

$$\bar{Уу} = 1 - Уу = 1 - \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}}, \quad (5)$$

которая оттеняет уровень несовершенства управления индустриальной системой.

Преобразуя выражение (1), и с учетом равенства (5) найдем формулу для величины показателя $\bar{Уу}$:

$$1 - \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}} = B_0 e^{-\frac{I}{I_0}} = \bar{Уу}. \quad (6)$$

Наглядно нелинейную зависимость уровня $\bar{Уу}$ управления индустриальной системой от количества вводимой в нее управляющей информации I при $B_0 = 0,75$ отображает кривая (рис. 3), зеркальная по отношению к аналогичной линии (см. рис. 2).

Для обсуждения динамики его величины первая производная функции $\bar{Уу}$ по переменной количества информации I при постоянных B_0 и I_0 :

$$\frac{d\bar{Уу}}{dI} = -\frac{B_0}{I_0} e^{-\frac{I}{I_0}} \quad (7)$$

дает возможность сформулировать результаты ее анализа.

1. Отрицательный знак равенства (7) указывает на убывание функции $\bar{Уу}$ с наращиванием количества информации I в индустриальной системе, или равносильно по (5) на последовательный рост уровня совершенства управления $Уу$ системой.

2. Коэффициент $\frac{B_0}{I_0}$ влияет на темп убывания функции $\bar{Уу}$ и весьма своеобразно: с его увеличением быстрее уменьшается значение функции $\bar{Уу}$, и наоборот. Поэтому

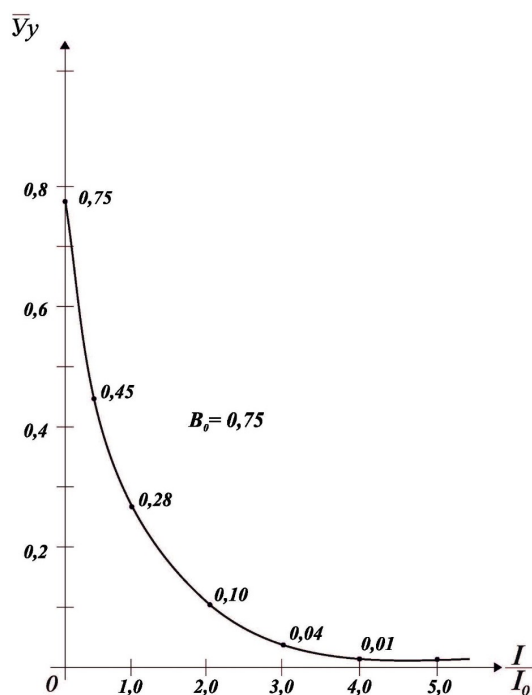


Рис. 3. Нелинейная зависимость уровня B_0 управления индустриальной системой от вводимой в нее управляющей информации при $B_0 = 0,75$

чем больше неупорядоченность индустриальной системы в исходном состоянии B_0 , тем стремительнее снижается уровень \bar{y}_y управления системы с усиленным вводом в нее управляющей информации.

При этом с точки зрения тригонометрии коэффициент $\frac{B_0}{I_0}$ представляет собой котангенс острого угла прямоугольного треугольника (см. рис. 1): отношение прилежащего катета отрезком B_0 к противолежащему катету длиной I_0 . И по мере роста количества управляющей информации I и увеличения этого угла его котангенс в данном интервале уменьшается, а с ним и темп убывания уровня \bar{y}_y управления индустриальной системой (7).

3. Нелинейный характер снижения величины (5) можно оценить по сравнительной динамике (см. табл.). При удвоении количества введенной в индустриальную систему информации с $I = I_0$ до $I = 2I_0$ темп убывания меры \bar{y}_y управления (7) уменьшится и стабилизируется при разных B_0 на уровне 2,7 раза. А при том же удвоении количества информации в индустриальной системе, но более высокой исходной величины с $I = 2I_0$ до $I = 4I_0$, темп убывания величины \bar{y}_y (7) уменьшится уже в 7,3–7,4 раза.

4. В заключение обсуждения особенностей изменения уровня \bar{y}_y учтем, что правая

часть формулы (7) может быть преобразована к равенству:

$$\frac{d\bar{y}_y}{dI} = -\frac{\bar{y}_y}{I_0},$$

имея в виду выражение (6).

Вывод: темп изменения \bar{y}_y детерминирован не только количеством информации I_0 в начальном состоянии индустриальной системы, но и текущим уровнем \bar{y}_y управления ею. Так, с ростом \bar{y}_y повышается темп убывания его величины, и наоборот.

Выше уже шла речь о том, что для инновационной экономики и ее цифровизации залогом роста эффекта функционирования индустриальной системы стали не только циркулирующие по магистралям коммуникаций потоки управляющей информации, но и массовое применение наукоемких знаний, материализованных в технической базе предприятия (конструкции машин, агрегатов, аппаратуры и т.д.), которые проявляются в уровне совершенства системы $Ус$. Внедренные в них продуктовые и технологические инновации обеспечивают востребованные кондиции производственного оборудования для освоения изготовления конкурентоспособной промышленной продукции, поддерживая устойчивость и адаптивность деятельности предприятий в бизнес-среде. По В.А. Трапезникову композитный показатель, объединяющий уровни $Уу$ и $Ус$, характеризует уровень используемых знаний и умения, или, коротко, уровень знаний $У$, т.е. измеряется произведением: $У = УуУс$ [22, с. 25].

Расчеты автора подтвердили, что ежегодные инвестиции в развитие производства промышленного предприятия, технические средства и программные продукты для целей управления дали возможность осваивать от 10 до 14 новых изделий и за пять лет повысить уровень знаний системы управления в 2,18 раз. Тем самым были созданы необходимые ресурсы для удвоения производительности труда (по добавленной стоимости), увеличения добавленной стоимости в 1,75 раза и чистой прибыли в 1,38 раза [2, с. 327–328].

Выводы

Познание и регулирование энтропийно-информационных процессов в эволюционирующей индустриальной системе и анализ влияния их на эффект ее функционирования обогащают теоретико-методологический и прикладной инструментарий управления и ин-

теллектуальных средств поддержки принятия управленческих решений менеджеров. Благодаря этому проводится модернизация алгоритмов, моделей и технологии управления производством в русле развития современных наукоемких промышленных технологий и продуктов.

Интерпретация экспоненциальной зависимости эффекта поведения индустриальной системы от количества введенной в нее управляющей информации порождает обсуждаемые в статье нелинейную специфику в динамике и условие устойчивости величины эффекта, уровня совершенства управления функционированием этой системы. Аргументированные особенности изменения статистических характеристик этих процессов вносят существенную нюансировку в про-

ектируемые инструменты инновационного менеджмента в среде, цифровизируемой знаниями.

Дальнейшее исследование резонно нацелить на вовлечение в анализ финансово-экономических показателей работы индустриальной системы, поиск и толкование энтропийно-информационных закономерностей изменения и обеспечения устойчивости их значений. Интеллектуализация этих систем мотивирует раскрытие взаимосвязей их характеристик с эффектом поведения эволюционирующих систем, уровнями знаний и совершенства управления ими в сильно хаотизированном окружении — возмущенном пространстве мировых и отечественных экономических метаморфоз, набегающих волн инноваций и смены технологических укладов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


1. Больцман Л. Статьи и речи / Л. Больцман. — Москва : Наука, 1970. — 406 с.
2. Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика / Дж.В. Гиббс. — Москва : Наука, 1982. — 584 с.
3. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики / Э. Шредингер. — Москва, 1947. — 146 с.
4. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Н. Винер. — Москва : Наука, 1983. — 341 с.
5. Берг А.И. Предисловие к первому русскому изданию / А.И. Берг // Кибернетика и управление производством / С. Бир. — 2-е изд., доп. — Москва, 1965. — С. 3–6.
6. Трапезников В.А. Автоматическое управление и экономика / В.А. Трапезников // Автоматика и телемеханика. — 1966. — Вып. 1. — С. 5–22.
7. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication / C. Shannon // The Bell System Technical Journal. — 1948. — Vol. 27. — P. 379–423, 623–656.
8. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация / Л. Бриллюэн. — Москва : Мир, 1966. — 271 с.
9. Колмогоров А.Н. Теория передачи информации / А.Н. Колмогоров // Избранные труды : в 6 т. — Москва, 2005. — Т. 3 : Теория информации и теория алгоритмов. — С. 10–35.
10. Чистякова О.В. Интеграция науки, образования и бизнеса для обеспечения технологического суверенитета России / О.В. Чистякова. — DOI 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1001-1014. — EDN ZONZLP // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 3. — С. 1001–1014.
11. Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0 / В.В. Глухов, А.В. Бабкин, Л.Р. Батукова [и др.] // *W-Economy*. — 2024. — Т. 17, № 5. — С. 61–87.
12. Силакова Л.В. Сущность цифровой трансформации: понятие и процесс / Л.В. Силакова, А. Андроник, А.Д. Киселев. — DOI 10.17150/2411-6262.2024.15(2).568-579. — EDN SGZMLZ // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 2. — С. 568–579.
13. Болданова Е.В. К вопросу оценки степени влияния инфокоммуникационных технологий на экономическое развитие / Е.В. Болданова. — DOI 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1153-1163. — EDN HBKINI // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 3. — С. 1153–1163.
14. Коркина В.С. Цифровизация экономики субъектов малого предпринимательства — от оценки бизнес-процессов к целеполаганию / В.С. Коркина, О.В. Змановская. — DOI 10.17150/2411-6262.2023.14(2).429-437. — EDN TSSXOA // Baikal Research Journal. — 2023. — Т. 14, № 2. — С. 429–437.
15. Воронина Н.Ф. Человеческий потенциал в образовании как основа становления цифровой экономики / Н.Ф. Воронина. — DOI 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1177-1186. — EDN TUDNPH // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 3. — С. 1177–1186.
16. Терехова Т.А. Мотивационная детерминация системы отношений интеллектуальной собственности и инновационной активности личности / Т.А. Терехова, Е.Л. Трофимова. — DOI 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1363-1371. — EDN YRAUFL // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 3. — С. 1363–1371.
17. Маркс К. Экономические рукописи 1857–1859 годов : первонач. вариант «Капитала» // Сочинения / К. Маркс, Ф. Энгельс. — 2-е изд. — Москва : Политиздат, 1969. — Т. 46, ч. 2. — 618 с.
18. Электроника : энцикл. слов. / гл. ред. В.Г. Колесников. — Москва : Сов. энцикл., 1991. — 688 с.
19. Алферов Ж.И. Наука и общество / Ж.И. Алферов. — Санкт-Петербург : Наука, 2006. — 383 с.
20. Трапезников В.А. Управление и научно-технический прогресс / В.А. Трапезников. — Москва : Наука, 1983. — 224 с.

21. Трапезников В.А. Темп научно-технического прогресса — показатель эффективности управления экономикой / В.А. Трапезников // Автоматика и телемеханика. — 1971. — Вып. 4. — С. 5–36.
22. Chuprov S.V. Knowledge in the model of dynamics and stability of an industrial enterprise / S.V. Chuprov // Northern Sustainable Development Forum 2020SHS. Web of Conferences. — 2021. — P. 112.00034.
23. Чупров С.В. Управление устойчивостью производственных систем: теория, методология, практика / С.В. Чупров. — 2-е изд., испр. и доп. — Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2012. — 354 с. — EDN QVIBCL.


REFERENCES

1. Bol'tsman L. *Articles and Speeches*. Moscow, Nauka Publ., 1970. 406 p.
2. Gibbs Dzh.V. *Thermodynamics. Statistical Mechanics*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 584 p.
3. Schrodinger E. *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge University Press, 1944. 194 p. (Russ. ed.: Шредингер Э. *Schrodinger E. What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Moscow, 1947. 146 p.).
4. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. New York, M.I.T. Press, 1961. 212 p. (Russ. ed.: Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Moscow, Nauka Publ., 1983. 341 p.).
5. Berg A.I. Preface to the First Russian Edition. In Beer S. *Cybernetics and Management*. 2nd ed. Moscow, 1965, pp. 3–6. (In Russian).
6. Trapeznikov V.A. Automatic control and economics. *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 1966, iss. 1, pp. 5–22. (In Russian).
7. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, pp. 379–423, 623–656.
8. Brillouin L. *Scientific Uncertainty and Information*. New York, Academic Press, 1964. (Russ. ed.: Brillouin L. *Scientific Uncertainty and Information*. Moscow, Mir Publ., 1966. 271 p.).
9. Kolmogorov A.N. Information transfer theory. *Selected Works*. Moscow, 2005. Vol. 3, pp. 10–35. (In Russian).
10. Chistyakova O.V. Integration of Science, Education and Business to Ensure Technological Sovereignty of Russia. *Baikal Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 3, pp. 1001–1014. (In Russian). EDN: ZONZLP. DOI: 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1001-1014.
11. Glukhov V.V., Babkin A.V., Batukova L.R. Shkarupeta E.V., Makhmudova G.N. Theoretical Provisions of Programming of Strategic Development of Industry in the Conditions of the Formation of Industry 5.0. *W-Economy*, 2024, vol. 17, no. 5, pp. 61–87. (In Russian).
12. Silakova L.V., Andronik A., Kiselev A.D. The Essence of Digital Transformation: Concept and Process. *Baikal Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 2, pp. 568–579. (In Russian). EDN: SGZMLZ. DOI: 10.17150/2411-6262.2024.15(2).568-579.
13. Boldanova E.V. o the Issue of Assessing the Impact of Infocommunication Technologies on Economic Development. *Baikal Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 3, pp. 1153–1163. (In Russian). EDN: HBKINI. DOI: 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1153-1163.
14. Korkina V.S., Zmanovskaya O.V. Digitalization of the Economy of Small Businesses - from Business Process Assessment to Goal Setting. *Baikal Research Journal*, 2023, vol. 14, no. 2, pp. 429–437. (In Russian). EDN TSSXOA. DOI 10.17150/2411-6262.2023.14(2).429-437.
15. Voronina N.F. Human Potential in Education as the Basis for the Formation of the Digital Economy. *Baikal Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 3, pp. 1177–1186. (In Russian). EDN: TUDNPH. DOI: 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1177-1186.
16. Terekhova T.A., Trofimova E.L. Motivational Determination of the System of Relations Between Intellectual Property and Innovative Activity of the Individual. *Baikal Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 3, pp. 1363–1371. (In Russian). EDN: YRAUFL. DOI: 10.17150/2411-6262.2024.15(3).1363-1371.
17. Marx K., Engels F. Economic manuscripts 1857–1859. *Works*. 2nd ed. Moscow, Political Literature Publishing House Publ., 1969. Vol. 46, pt. 2. 618 p.
18. Kolesnikov V.G. (ed.). *Electronics*. Moscow, Sovetskaya Ehntsiklopediya Publ., 1991. 688 p.
19. Alferov Zh.I. *Science and Society*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2006. 383 p.
20. Trapeznikov V.A. *Management and scientific and technological progress* Moscow, Nauka Publ., 1983. 224 p.
21. Trapeznikov V.A. The pace of scientific and technological progress is an indicator of the effectiveness of economic management.. *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 1971, iss. 4, pp. 5–36. (In Russian).
22. Chuprov S.V. Knowledge in the Model of Dynamics and Stability of an Industrial Enterprise. *Northern Sustainable Development Forum 2020SHS. Web of Conferences*. 2021, pp. 112.00034.
23. Chuprov S.V. Managing the Sustainability of Production Systems: Theory, Methodology, Practice. 2nd ed. Irkutsk, Baikal State University of Economics and Law Publ., 2012. 354 p. EDN: QVIBCL.

Информация об авторе

Чупров Сергей Витальевич — доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента и сервиса, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ChuprovSV@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-8581-9733>, SPIN-код: 8899-5089, AuthorID РИНЦ: 252118.

Author

Sergey V. Chuprov — D.Sc. in Economics, Professor, Department of Management and Service, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: ChuprovSV@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-8581-9733>, SPIN-Code: 8899-5089, AuthorID RSCI: 252118.

Для цитирования

Чупров С.В. Интеллектуализация и совершенствование управления функционированием промышленной системы в аксиоматике информационной энтропии / С.В. Чупров. — DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(4).638-647. — EDN HHLFRC // Известия Байкальского государственного университета. — 2024. — Т. 34, № 4. — С. 638–647.

For Citation

Chuprov S.V. Intellectualization and Management Improvement of Industrial System Functioning in Axiomatics of Information Entropy. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2024, vol. 34, no. 4, pp. 638–647. (In Russian). EDN: HHLFRC. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(4).638-647.