



СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА УПРАВЛЕНИЯ В.А. ТРАПЕЗНИКОВА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХАОТИЗИРОВАННОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© Чупров С.В., 2026

Чупров Сергей Витальевич, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры, Институт управления и финансов, Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия;
ORCID: 0000-0001-8581-9733; eLibrary SPIN: 8899-5089; ChuprovSV@yandex.ru

Статья поступила: 11.11.2025, принята к печати: 15.07.2026

Оригинальная статья

Аннотация. 120-летие прославленного отечественного ученого академика В.А. Трапезникова актуализирует осмысление его научного поиска — его приверженность статистическому методу в исследовании поведения экономических систем, которое стало прологом аргументированной им энтропийно-информационной парадигмы анализа эффекта их функционирования. Укоренившийся в экономике детерминизм, господствовавший в формализации ее классических задач, уступил место вероятностному толкованию зависимости этого эффекта от влияющих на него факторов, что дает возможность обнаружить и интерпретировать присущие экономическим структурам закономерности их поведения, динамики показателей неопределенности, организации и работы в симбиозе естественных и экономических наук. Цель представленного исследования состоит в приращении знаний о статистическом функционировании индустриальной системы, отображаемых энтропийных, информационных и экономических процессах. В статье в соответствии со статистической парадигмой управления В.А. Трапезникова изложены приложения парадигмы в анализе логистической модели Ферхюльста (Верхульста) и Реденура, построении логарифмической модели с включением в нее показателей управляющей информации, неупорядоченности и заданного уровня совершенства (по В.А. Трапезникову) управления системой. Обсуждается полученное условие устойчивости этого уровня в отношении индустриальной системы с трактовкой экспоненциального роста вводимой управляющей информации. Охарактеризован уровень знаний экономической системы по В.А. Трапезникову, его определение и расчет по материалу промышленного предприятия. В рамках статистической парадигмы управления введена оценка уровня несовершенства управления индустриальной системой, дано описание и интерпретация разработанных моделей ее связи с неупорядоченностью и количеством управляющей информации, с энтропийной мерой порядка функционирования системы в исходном и текущем состояниях. Отмечены области проводимых конвергентных исследований по энтропийно-информационной природе экономических процессов.

Ключевые слова: индустриальная система, неопределенность, статистическая парадигма управления, устойчивость, хаос, энтропия.

Классификация JEL: C15, D80, L23, O32.

Благодарность. Статья подготовлена по результатам развития исследований, поддержанных грантами Международного научного фонда экономических исследований академика Н.П. Федоренко в 2005 и 2008 гг.

Для цитирования: Чупров С.В. (2026). Статистическая парадигма управления В.А. Трапезникова и ее приложение к моделированию функционирования хаотизированной индустриальной системы // Экономическая наука современной России. Т. 29. № 3. С. 174–186. [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2026-29\(3\)-174-186](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2026-29(3)-174-186). EDN: WUBYZC



TRAPEZNIKOV'S STATISTICAL CONTROL PARADIGM AND ITS APPLICATION TO MODELING FUNCTIONING OF CHAOTIC INDUSTRIAL SYSTEM

© Chuprov S.V., 2026

Sergey V. Chuprov, Dr. Sci. (Economics), Professor, Professor at the Department, Institute of Management and Finance, Baikal State University, Irkutsk, Russia;
ORCID: 0000-0001-8581-9733; eLibrary SPIN: 8899-5089; ChuprovSV@yandex.ru

Received: 11/11/2025, Accepted: 15/07/2026

Original article

Abstract. 120th anniversary of the famous domestic Academician V.A. Trapeznikov actualizes the features of his scientific search with commitment to statistical teaching in the study of economic systems' behavior, which became a prologue to his entropy-informational paradigm of analyzing the effect of their functioning. The entrenched determinism in economics, which dominated the formalization of its classical problems, gave a way to a probabilistic interpretation of the dependence of this effect on the factors it is influencing. It makes possible to identify and interpret the inherent patterns of behavior and dynamics of uncertainty indicators, organization, and effect of industrial systems in the symbiosis of natural sciences and economics. The aim of the present study is to increase knowledge about the statistical nature of the functioning of the industrial system; it is displayed by its entropy, information, and economic processes. According to V.A. Trapeznikov's statistical control paradigm, the article presents its applications in the analysis of Verhulst and Redenur's logistic models, the construction of a logarithmic model incorporating indicators of information control, disorder, and a given level of system control perfection (according to V.A. Trapeznikov). The obtained condition for the stability of this level in relation to the industrial system with the interpretation of the exponential growth of the input control information is discussed. The level of knowledge of the economic system according to V.A. Trapeznikov, its definition and calculation based on the material of industrial enterprise is characterized. Within the framework of the statistical control paradigm, the article introduces an assessment of the level of control system imperfection of an industrial system, provides a description and interpretation of the developed models of its relationship with disorder and the amount of control information, and with the entropy measure of the system's functioning in its initial and current states. The areas of ongoing convergent studies on the entropy-informational nature of economic processes are noted.

Keywords: industrial system, information, model, uncertainty, order, control, stability, chaos, entropy, effect.

Classification JEL: C15, D80, L23, O32.

Acknowledgment. The research presented in this article was developed with the support of grants from the Academician N.P. Fedorenko International Scientific Foundation of Economic Research in 2005 and 2008.

For reference: Chuprov S.V. Trapeznikov's statistical control paradigm and its application to modeling the functioning of a chaotic industrial system. *Economics of Contemporary Russia*, 2026;29(3):174–186. (In Russ.) [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2026-29\(3\)-174-186](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2026-29(3)-174-186). EDN: WUBYZC

ВВЕДЕНИЕ

Освоение наукоемкого технологического уклада и стремительная цифровизация экономики вносят в повестку приоритетных теоретических и прикладных разработок проектирование и модернизацию информационно-коммуникационных технологий адаптивного управления промышленными предприятиями в пространстве деструктивных и инновационных возмущений. Последние подвергают индустриальные системы риску деградации и угасания деловой активности либо мотивируют технико-технологическое переоснащение производства в рамках располагаемых ресурсов для удержания и расширения рыночного сегмента востребованной продукции. Претерпеваемые переходные процессы индустриальных систем обнаруживают давление нарастающих потоков возмущений на расчетный режим работы этих систем и сопровождаются наложением на него хаотизации, проявляемой той или иной мерой неупорядоченности функционирования индустриальных систем. Среди подобных возмущений — разного рода аномалии в их производственной деятельности, которые служат точками запуска ее хаотизации: отступления от норм технологий, сбои в поставках и движении межцеховых потоков заготовок, деталей, узлов и др., отказы оборудования, прерывание режимов электроснабжения, препоны коммуникациям между партнерами, нарушения трудовой дисциплины и т.п.

В этом отношении новаторские исследования академика В.А. Трапезникова, 120-летие которого отмечалось в ноябре 2025 г., обобщены парадигмой энтропийно-информационного моделирования поведения и работы управляемого комплекса в экономике. С концептуализацией на базе постулатов статистической теории макросистем и своего кредо «Управление — это борьба за упорядоченность» в статьях, опубликованных в журнале «Автоматика и телемеханика» в 1966–1972 гг. (Трапезников, 1966, 1969, 1971, 1972), им развернуты обоснования влияния управления на технический прогресс и методики экономических оценок его динамики. В.А. Трапезников обогатил аналитику нелинейного управления в экономике вероятностным моделированием и интерпретацией зависимости эффекта функционирования управляемого комплекса от его неупорядоченности в исходном состоянии и количества информации, характерной для него, с учетом управляющей информации, вводимой людьми и автоматическими устройствами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из истории науки мы знаем, что изыскания по энтропийной природе поведения макросистем восходят к парадигмам термодинамики и статистической физики, а с ними — к статистическому учению, которое питало своими воззрениями об энтропии системы во взаимодействии с окружением теорию информации и кибернетику. Понимание энтропии и упорядоченности нобелевским лауреатом по физике Э. Шредингером как противоположных характеристик (Шредингер, 1947, с. 105) и негэнтропийный принцип Л. Бриллюэна (Бриллюэн, 1966, с. 33–34) резюмировал Н. Винер, утверждая: «Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком» (Винер, 1983, с. 56).

В нашей стране энтропийные представления для исследований функционирования экономических систем нашли отклик среди ученых, которые фокусировали свои разработки на феноменах управления. Сошлемся на мнение председателя Научного совета по кибернетике АН СССР академика А.И. Берга о том, что процессам управления присуща точная количественная мера — уменьшение энтропии (Берг, 1965, с. 5). На страницах научных изданий обсуждались: энтропийные модели сложных систем и расчеты при управлении производственными и бизнес-процессами (Прангишвили, 2003); энтропийное управление инновационным развитием общества как сложной системы (Викуленко, 2012); применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике (Королев, Кусый, Сигал, 2022); приложение энтропийного метода для оценки и совершенствования организации и управления предприятиями (Завельский, Починщиков, 1969; Гришина, Попов, Сатановский, 1991) и др.

В статье «Автоматическое управление и экономика» В.А. Трапезников (Трапезников, 1966) сконструировал с позиций макроподхода статистическую модель эффекта управляемого комплекса как многокомпонентной системы, находящейся под разнообразными воздействиями, имеющими случайный характер. Между тем по прошествии 60 лет предложенная им концепция, отличная от детерминизма анализа функционирования управляемого комплекса и его эффекта, не нашла активного развития, хотя была источником ряда неординарных статистических закономерностей и моделей хаотизированной индустриальной системы, значимые из которых будут раскрыты ниже.

Притягательность энтропийного подхода к осмыслению современных проблем в сфере экономики демонстрируют научные публикации, посвященные энтропийно-информационным процессам в экономике региона и промышленных предприятий (Хитрова Т.И., Хитрова Е.М., Пешкова, 2023; Давыдова, Булгакова, 2024; Чупров, 2025б) и др. Наряду с этим, зарубежные коллеги также занимались разработкой общих вопросов анализа мер энтропии и информации (Stoicks, 2026), процессов энтропии в теории динамических систем и статистической механике (Robinson, 2008). Они исследовали значения информации с количественным измерением неопределенности и проявления ее в классической механике и статистической механике (Chakraborty, 2024); энтропию, параметры порядка и сложности в областях математики, биологии, инженерии, информатики и социальных наук (Sethna, 2025). Ряд авторов исследовали частные вопросы: влияние энтропии и информации на корпоративное управление, бизнес-процессы (Qixin, Yajing, 2024; Xiang, Tie, Bing, 2013; Al-Dwairi, Daradkeh, 2017) и др.

Протицируем мировоззренческое суждение В.А. Трапезникова из статьи «Темп научно-технического прогресса — показатель эффективности управления экономикой», которое пронизывало его исследование: «... Результат науки — это накопленная информация... В процессе труда человек “генерирует” информацию. Часть ее овеществляется в предметах труда, другая часть накапливается в форме знаний (книги, документы), наконец, часть “расходуется” в процессе труда на борьбу с неупорядоченностью» (Трапезников, 1971, с. 19).

В этом ключе экономическую эффективность науки доказывает сравнение двух показателей: затраты на науку почти в четыре раза эффективнее, чем обычные капитальные затраты с учетом технического прогресса, и в 6,3 раза эффективнее затрат на расширение производственных фондов в отсутствие внедрения достижений технического прогресса (Трапезников, 1969, с. 15–16).

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА УПРАВЛЕНИЯ В.А. ТРАПЕЗНИКОВА И ЕЕ МОДЕЛЬ

Статистическая парадигма управления В.А. Трапезникова опирается на признание вероятностного характера элементарных процессов производства, к тому же и взаимодействие элементов экономической системы «не в полной мере согласовано между собой в пространстве и во времени, из-за чего в системе возникает неупорядоченность, снижающая ее эффективность. Это заставляет ис-

пользовать при анализе вероятностный подход» (Трапезников, 1971, с. 6).

С обращением к статистической физике В.А. Трапезников на основании логарифмической зависимости энтропии макроскопической системы от ее неупорядоченности построил экономико-математическую модель определения эффекта $\mathcal{E}$ функционирования управляемого комплекса. Формализуя его зависимость от неупорядоченности комплекса в исходном состоянии B_0 и количества имеющейся в нем I_0 и введенной I управляющей информации, он представил изящное экспоненциальное выражение, связывающее величину $\mathcal{E}$ с эффектом идеально работающего комплекса $\mathcal{E}_{\max}$ (Трапезников, 1966, с. 14):

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

По В.А. Трапезникову, неупорядоченность системы B есть мера отклонения состояния управляемого комплекса от идеального; она имеет разное математическое выражение, но всегда $B < 1$ (Трапезников, 1966, с. 14–15).

Визуализация этой модели (рис. 1) показывает типичный нелинейный режим функционирования управляемого комплекса с «насыщением» и пределом $\mathcal{E}_{\max}$, в котором кривая после точки перегиба по экспоненте следует траектории $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{\max}$ с падением темпа приращения эффекта $\mathcal{E}$, несмотря на продолжающийся рост количества управляющей информации I . При этом с ее увеличением (часть информации i вводится человеком-оператором) в хаотизированном управляемом комплексе

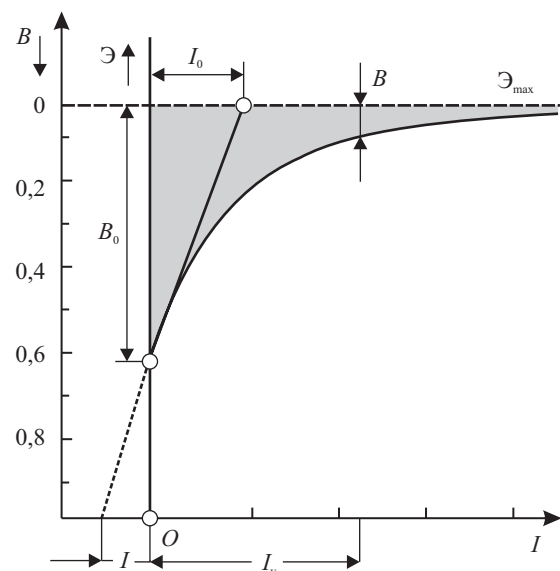


Рис. 1. Эффект управляемого комплекса в зависимости от количества управляющей информации

Источники: (Трапезников, 1983, с. 8).

ожидаемо уменьшается неупорядоченность его состояний B , но полностью свести ее к нулю теоретически не осуществимо.

Между тем экспоненциальный вид кривой наводит на мысль о констатации нелинейных закономерностей в управлении индустриальными системами, их информационного, алгоритмического, математического обеспечения в экономическом аспекте, о которых писал В.А. Трапезников:

- по мере усложнения системы управления, «накачивания» управляющей информации со временем дополнительно приобретаемый эффект уменьшается, а срок окупаемости системы растет, так как повышение эффекта сдерживается вытесняемым хаосом. Верхняя ветвь кривой $\mathcal{E}$ наглядно очерчивает предельные возможности комплекса, и неустрашимость целиком хаоса лишает возможности добиться идеального состояния $\mathcal{E}_{\max}$ (см. рис. 1);

- нелинейная модель (1) побуждает обстоятельнее взвешивать экономические последствия инвестиционных проектов с намерением достичь максимального уровня работы управляемого комплекса: стереотипная цель приближения к $\mathcal{E}_{\max}$ оборачивается непомерным сроком окупаемости затрат такого проекта;

- поучительно, что «не следует чрезмерно усложнять алгоритмы управления в погоне за их максимальным совершенством. Приближенные, но более простые алгоритмы обеспечивают более экономичную и надежную систему управления... Это же относится и к составлению математических моделей управляемых комплексов» (Трапезников, 1966, с. 16);

- поскольку полностью исключить хаос из функционирования системы нереально, экономически целесообразно оставлять в ней долю неупорядоченности, «шума».

К этому выводу примыкает поиск решения задачи планирования и поддержания целесообразной деятельности индустриальных систем. По опыту теории автоматического управления вполне естественно, чтобы промышленное предприятие располагало резервом производственных мощностей, утверждал В.А. Трапезников, и имело возможность регулировать его функционирование и погашать неизбежно возникающие у него помехи (Трапезников, 1969, с. 9–10). В итоге при отсутствии избыточных мощностей сокращается возможность компенсации таких помех, могут появляться потери, превосходящие стоимость резервных мощностей предприятия, и снижаться объемы выпуска его продукции.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В эволюционирующей индустриальной системе повышение эффекта ее функционирования

в возмущенной среде создается взаимодействием инновационных и консервативных сил, препятствующих расчетному переходному процессу (косность стиля управления, дефицит квалифицированных кадров, отсталость технической базы, устаревшая технология, недостаточное финансирование и др.) — движению в целевое состояние системы. Поэтому вполне логичным выглядит замысел соизмерения достигнутого значения эффекта $\mathcal{E}$ ее работы по сравнению с его максимумом $\mathcal{E}_{\max}$, отношение которых В.А. Трапезников назвал *уровнем совершенства управления системой* Y_y (Трапезников, 1971, с. 7):

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

Очевидно, что поскольку $\mathcal{E} < \mathcal{E}_{\max}$, то величина уровня совершенства управления системой Y_y заключена в единичном интервале.

В моделировании функционирования индустриальной системы нелинейная особенность экспоненциальной зависимости эффекта ее работы от накопленной в системе управляющей информации заложена в закономерности с меняющимся темпом и наложенными ограничениями с привлечением модели Ферхюльста (иногда в переводе Верхульста) и Реденура. Так, в нулевой момент времени ($t = 0$) имеем $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0$ и при финализации ($t \rightarrow \infty$) наблюдаем предсказуемое движение эффекта $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{\max}$, тогда как величина уровня совершенства управления (2) $Y_y \rightarrow 1$.

Вместе с тем реализация переходного процесса $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{\max}$ в насыщенной деструктивными возмущениями нестационарной среде сталкивается с влиянием неупорядоченности индустриальных систем и сопротивления управляющим воздействиям, направленным на обуздание хаотизации систем. Цитируя принцип В.А. Трапезникова «Процесс управления — это по существу борьба с неупорядоченностью» (Трапезников, 1966, с. 14) и следуя ему, приведем зависимость количества управляющей информации I в индустриальной системе от уровней неупорядоченности B_0 и совершенства управления им Y_y (Чупров, 2024а, с. 642):

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

В принципиальном отношении модель (3), оставляя в стороне для упрощения влияние неупорядоченности B_0 , иллюстрирует график кривой на рис. 2. Немаловажно, что уровни совершенства управления Y_y при весьма больших количествах введенной в систему управляющей информации сближаются при существенно различающихся величинах ее неупорядоченности в исходном состоянии.

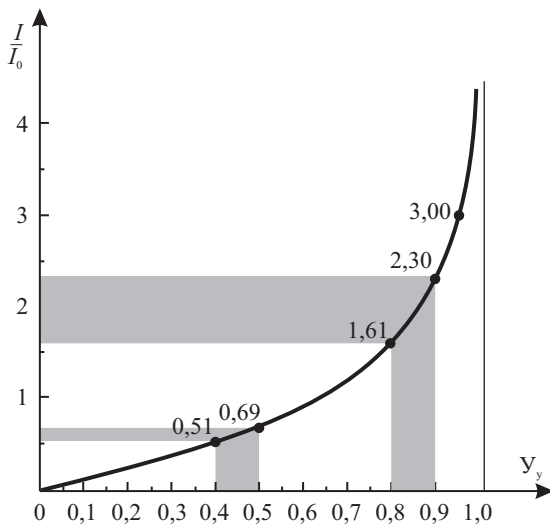


Рис. 2. Вид нелинейной связи совершенства управления индустриальной системы и относительной величины количества введенной в нее управляющей информации

Источники: (Чупров, 2025а, с. 36).

Взлет правой ветви кривой I/I_0 при $I_0 = \text{const}$ (см. рис. 2) воспроизводит экспоненциальный рост управляющей информации в системе, когда в области больших значений уровня Y_y с приближением $Y_y \rightarrow 1$ приращение его значений возможно благодаря кратному увеличению объема вводимой информации I .

Подобный вывод вытекает уже из экспоненциального вида графика на рис. 1, на котором прирост эффекта Ξ после точки перегиба пологой кривой обеспечивается непропорционально усиленной «накачкой» системы управляющей информацией с «восхождением» кривой по асимптоте к горизонтали граничного $\Xi_{\max}$. В очерке о парадигме В.А. Трапезникова читаем: «Кривая, связанная с переработкой информации и имеющая предел, — это в большинстве случаев экспонента» (Трапезников, 1972, с. 10).

В возмущенном пространстве давление критических помех может поколебать устойчивость индустриальной системы, ввиду чего приобретает теоретическую и практическую значимость аргументация энтропийно-информационного условия сохранения устойчивости уровня Y_y в допустимом интервале от нижней Y_y^H до верхней Y_y^B границы. Полученное в результате математических преобразований неравенство (Чупров, 2025а, с. 36)

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

отвечает на вопрос о пределах изменения логарифмических функций этих границ для поддержания устойчивого уровня совершенства управления Y_y индустриальной системы и эффекта Ξ ее работы

по (2) при $\Xi_{\max} = \text{const}$ под углом зрения информационного обеспечения процесса стабилизации ее функционирования (Чупров, 2012).

Вид зависимости (4) оттеняет присущую модели (1) нелинейную закономерность: с увеличением этих пределов быстро нарастает объем управляющей информации I , требуемый для ввода в индустриальную систему с целью погашения помех и поддержания устойчивости уровня Y_y (см. рис. 2). На этом основании разработка и внедрение инвестиционных проектов модернизации систем управления (информационно-коммуникационных технологий с улучшенным алгоритмическим, программным, техническим сопровождением) индустриальными структурами не могут игнорировать каверзы ресурсного переоснащения систем для достижения устойчиво высоких уровней совершенства управления системой Y_y .

С тенденцией интеллектуализации экономики доминирующими факторами роста эффекта функционирования индустриальной системы становятся как модернизируемые системы поддержки управленческих решений, так и воплощенные в технике производства инновации, которые (по В.А. Трапезникову) обобщает уровень совершенства системы Y_c (Трапезников, 1971, с. 7, 9). Его величина отражает накопленные знания, которые использовали при создании системы, и «стоимость производственных фондов — это, в известном масштабе, запасенная информация» (Трапезников, 1971, с. 17).

В статистической парадигме управления В.А. Трапезникова с энтропийно-информационной интерпретацией функционирования объекта управления вводится показатель Y — уровень используемых знаний и умения, или, коротко, уровень знаний (Трапезников, 1971, с. 7), рассчитываемый произведением Y_y и Y_c : $Y = Y_y Y_c$. Он характеризует «и научно-технические идеи, обусловившие конструктивное совершенство оборудования, и эффективность управления производственным процессом, определяемую знаниями людей, их квалификацией, умением управлять»¹.

Проведенная автором формализация такой зависимости и расчеты показали следующие результаты для промышленного предприятия. В стремлении укрепить конкурентные позиции «предприятие с каждым годом направляло больше средств на управленческую деятельность, а также наращивало стоимости технических средств (компьютеров и др.) и программных продуктов для целей управления: за 2003–2007 гг. она возросла

¹ Трапезников В. (1970). Главный показатель // Известия. 17 янв. № 15. С. 1.

почти в 11 раз. Благодаря этому была проведена модернизация не только вычислительной техники менеджеров, но и технологии их деятельности, и рассчитанный по методике В.А. Трапезникова уровень знаний системы управления вырос в 2,18 раза» (Чупров, 2012, с. 328).

В продолжение развития парадигмы В.А. Трапезникова проведем анализ величины несовершенства управления индустриальной системой $\bar{Y}_y$ как противоположной по смыслу Y_y (2) и потому оцениваемой формулой (Чупров, 2024а, с. 643)

$$\bar{Y}_y = 1 - Y_y = 1 - \frac{\Theta}{\Theta_{\max}}. \quad (5)$$

Преобразуем выражение (1) к виду

$$\frac{\Theta}{\Theta_{\max}} = 1 - B_0 e^{-\frac{I}{I_0}}$$

и с учетом равенства (5) для уровня несовершенства управления $\bar{Y}_y$ системой отождествляем:

$$1 - \frac{\Theta}{\Theta_{\max}} = B_0 e^{-\frac{I}{I_0}} = \bar{Y}_y. \quad (6)$$

Между тем первая производная функции $\bar{Y}_y$ по переменной I при постоянных B_0 и I_0

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

приводит к формулированию соответствующих выводов (Чупров, 2024а, с. 643–644):

- равенство (7) имплицитно определяет режим насыщения индустриальной системы управляющей информацией I , при котором уменьшается величина дроби $\bar{Y}_y/I$ с последующим затуханием этого процесса и повышением по (5) уровня Y_y ;

- можно утверждать, что «с точки зрения тригонометрии коэффициент 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 » (Чупров, 2024а, с. 644). Налицо — экспоненциальная закономерность наращивания информации I в системе с ростом эффекта Θ ее функционирования, отображаемого приближением кривой эффекта к его максимальному значению $\Theta_{\max}$. В пределе стремление к нему оборачивается неимоверно возрастающим количеством вводимой в систему управляющей информации I . В этом случае тригонометрически возрастание упомянутого острого угла ведет к уменьшению его котангенса и уровня несовершенства управления $\bar{Y}_y$ индустриальной системой (7);

- снижение величины (7) подчиняется нелинейной закономерности и конкретизируется экспоненциальным убыванием уровня несовершенства управления $\bar{Y}_y$ (6) с поступлением в систему информации I .

Подводя итоги анализа изменения уровня $\bar{Y}_y$, перепишем формулу (7) в виде дроби

$$\frac{d\bar{Y}_y}{dI} = -\frac{\bar{Y}_y}{I_0}, \quad (8)$$

имея в виду равенство (6).

Констатируем выводы по этой модели:

- знаком «минус» отмечаем понижающий характер модели, подразумевая, что производная уменьшается тем больше, чем выше уровень $\bar{Y}_y$ при фиксированной величине I_0 ;

- величина I_0 играет роль коэффициента в модели (8), причем чем он больше, тем меньше убывание относительного уровня $\bar{Y}_y/I$, тогда как малость I_0 ведет к повышению скорости снижения этого уровня.

Очевидным предположением выглядит существование положительной связи эффекта функционирования хаотизированной индустриальной системы Θ с мерой порядка ее поведения (Чупров, 2024б), для формализации которой воспользуемся использованным Г. Фёрстером способом оценки, который заимствовал из теории информации К. Шеннона, как относительную энтропию или избыточность (Förster, 1960), принятую в кибернетике (Энциклопедия кибернетики, 1975, с. 161) в качестве меры уровня относительной организации системы R :

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (9)$$

в которой символ H обозначает энтропию источника информации, а $H_{\max}$ — ее максимально возможную величину.

Для измерения количества информации резонно обратиться к парадигме теории информации, в которой постулируется, что последняя равна уменьшению неопределенности и энтропии, из чего исходил В.А. Трапезников (Трапезников, 1966, с. 14), приступая к изложению своей статистической концепции. С соблюдением сформулированного Л. Бриллюэном негэнтропийного принципа информации (Бриллюэн, 1966, с. 33–34) в реальных информационных системах содержащаяся в сообщении информация определяется разностью между исходной известной априори неопределенностью (энтропией) ансамбля событий и оставшейся неопределенностью после опыта их неопределенности (Беспалов, Крылов, Михайлов, 2008). Тем самым в нашем случае разность

$$H_{\max} - H = I \quad (10)$$

измеряет количество информации, допуская, что в исходном положении система была полностью хаотизированной, и тогда равенство (9) можно модифицировать:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = \frac{I}{H_{\max}}. \quad (11)$$

Понятно, что равенство (10) ограничивает количество информации интервалом от нуля (при $H = H_{\max}$ с наивысшей неопределенностью) до $H_{\max}$ (при $H = 0$ с полным устранением неопределенности), и потому величина R (11) принадлежит интервалу от нуля до единицы.

Заметим, что в произвольном режиме по модели Ферхюльста и Реденура и термодинамическому постулату при $t = 0$ ожидаемо $H = H_0$, и с $t \rightarrow \infty$ величина энтропии $H \rightarrow H_{\max}$, а потому $I \rightarrow 0$ и $R \rightarrow 0$.

С подстановкой $I = R H_{\max}$ из равенства (11) в выражение (1) запишем зависимость эффекта Э работы системы от максимальной энтропии, информации и уровня порядка функционирования системы (Чупров, 2024б, с. 1514):

$$\Theta = \Theta_{\max} \left(1 - B_0 e^{-\frac{R H_{\max}}{I_0}} \right). \quad (12)$$

Принимая во внимание границы изменения переменных этой зависимости, фиксируемые формулами их расчета (10) и (11), можем считать, что при исходном значении $I = I_0$ и уровне порядка в системе

$$R_0 = \frac{I_0}{H_{\max}}, \quad (13)$$

найдем, что эффект функционирования Θ_0 индустриальной системы в начальный момент $t = 0$:

$$\Theta_0 = \Theta_{\max} (1 - B_0 e^{-1}).$$

При максимальном значении количества управляющей информации в системе $I = H_{\max}$ по (11) величина $R = 1$ и равенство (12) упрощается:

$$\Theta = \Theta_{\max} \left(1 - B_0 e^{-\frac{H_{\max}}{I_0}} \right).$$

И если с повышением $H_{\max}$, вопреки хаотизации системы, возрастающая энтропия настойчиво замещается вводимой в нее управляющей информацией, эффект функционирования системы Э асимптотически приближается к максимальной $\Theta_{\max}$.

Проанализировав модель (12), мы придем к следующим выводам:

- эффект Э работы системы растет при увеличении меры порядка ее поведения R ;
- в охваченной хаосом индустриальной системе с ростом ее деградации и максимальной энтро-

пии $H_{\max}$ решение задачи повышения эффекта Э ее функционирования достигается улучшением организованности системы путем ввода управляющей информации, что дает возможность повышать уровень порядка поведения R ;

- вместе с тем с рост «стартового» количества информации I_0 в системе обостряется ужесточить условия положительной динамики величины R , поскольку тогда удастся набрать необходимый темп ускорения наращивания эффекта Э ее работы.

Далее представим модель (12) относительно оценки порядка R_0 (13) системы в начальный момент времени:

$$\Theta = \Theta_{\max} \left(1 - B_0 e^{-\frac{R}{R_0}} \right),$$

и в соответствии с (2) для уровня совершенства управления Y_y системой получим формулу

$$Y_y = \frac{\Theta}{\Theta_{\max}} = 1 - B_0 e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (14)$$

Об условиях минимального и максимального пределов уровня Y_y . При гипотетически допускаемом нулевом количестве введенной информации ($I = 0$) и мере порядка (11) $R = 0$ хаотизированной индустриальной системы ($H_{\max} \neq 0$) найдем нижнюю границу Y_y :

$$Y_y = \frac{\Theta}{\Theta_{\max}} = 1 - B_0,$$

задаваемую значением начальной неупорядоченности B_0 системы (напомним, $B_0 < 1$). Верхняя граница Y_y (14) зависит от отношения мер порядка R/R_0 , и при идеально организованной системе ($R = 1$) уровень Y_y определяется мерой порядка R_0 , причем чем эта мера меньше, тем в большей степени максимизируется $Y_y \rightarrow 1$.

Расчет по модели (14) раскрывает экспоненциальную зависимость от них величины Y_y со свойственным ей приближением к пределу 1.

Выясняем, что двух- и трехкратное превышение неупорядоченности B_0 (от 0,30 к 0,60 и 0,80) остается малозначимым в закономерном росте Y_y , и при $R = 5 R_0$ величины Y_y сходятся (с точностью до сотых) к $Y_y = 0,99$. Но чем больше исходный информационный «задел» и мера порядка R_0 в системе, тем больше требуется вводить в нее управляющей информации и повышать в ней порядок R (напомним, $R \leq 1,0$), чтобы добиться целевого уровня совершенства управления Y_y . Одновременно с ростом B_0 при равных R ожидаемо снижается уровень Y_y , но с нарастанием $R \rightarrow 1$ значения Y_y сближаются. Например, при $R_0 = 0,1$ величина $Y_y = 0,9999$ соответствует мере порядка $R = 0,8$ при

$B_0 = 0,3$, тогда как при $B_0 = 0,8$ — уже значению $R = 0,9$. При этом в частном случае ($H_{\max} = \text{const}$, $I = I_0$ и $R = R_0$) выражение (14) упрощается и сводится к виду

$$Y_y = 1 - B_0 e^{-1}. \quad (15)$$

И поскольку мера неупорядоченности состояний системы $B_0 < 1$, равенство (15) устанавливает нижнюю границу уровня совершенства управления ею: $Y_y > 0,6321$.

Интерпретируя свойства нелинейной модели (14), мы видим, что зависимость уровня знаний Y_y от неупорядоченности хаотизированной индустриальной системы и мер порядка в ней логично согласуется с нашими представлениями о динамике уровня Y_y : он повышается при уменьшении B_0 и росте R , и наоборот.

Назначение описанных статистических моделей состоит в увязывании анализа и толкования связи эффекта функционирования индустриальной системы с уровнем совершенства управления ею с мерой порядка поведения этой системы и зависимостью эффекта от ее неупорядоченности, максимальной энтропии и количества управляющей информации в системе в начальный момент времени. Наряду с этим для нелинейного управления индустриальной системой в возмущенном пространстве раскрываются условие устойчивости уровня совершенства управления системой и его минимальный и максимальный пределы.

Для практики применения изложенных в статье моделей могут быть предложены следующие подходы к оцениванию их характеристик.

Величина неупорядоченности системы B_0 «привязана» к числу ее микросостояний: чем их больше, тем выше и значение B_0 , поэтому уменьшение множества хаотических состояний индустриальной системы посредством умелого оперативного управления ею приводит к снижению B_0 и росту эффекта (1) функционирования Э системы. В отношении индустриальной системы продолжительность аномалий в процессе выполнения в ней производственных заданий (внеплановые остановки, срывы в снабжении ресурсами и движении материальных потоков, простои и отказы оборудования и др.) в рабочем времени системы статистически задают показатель неупорядоченности начальной B_0 (до поступления в систему управляющей информации) и текущей B .

Количество информации I и, в частности, I_0 определяется по формуле (10), в которой величина энтропии рассчитывается по материалам статистики трудоемкостей всех изготавливаемых в индустриальной системе предметов труда, соотносимой с общей трудоемкостью производственной программы системы. Сведение к минимуму разнообразия

(по числу и времени) и хаотизации выполняемых работ по канонам кибернетики приносит пользу управлению, влечет за собой уменьшение неопределенности и энтропии поведения индустриальной системы. Разность величин исходной и достигнутой энтропий позволит вычислить количество информации в результате рационализации оперативных планов производства предметов труда.

Уровни R (11) и R_0 (13) как производные количества информации и максимальной энтропии рассчитываются после оценки их величин и указывают на организованность индустриальной системы и уровень совершенства управления Y_y (14) этой системой.

Подытоживая статистические закономерности функционирования индустриальной системы, коснемся проводимых конвергентных исследований и национальной стратегии научно-технологического развития России.

Во-первых, изучение динамики характеристик работы экономической системы по модели (1), уровней совершенства управления и знаний логично продолжить для систем различных отраслей, пример которого для трубопроводного транспорта газа описан в монографии (Кучин, Якушева, 1990, с. 81–94). Для этого авторы оценили связь между относительными темпами научно-технического прогресса, определяемого уровнем знаний, и темпами роста производительности труда и фондовооруженности, а также по методике В.А. Трапезникова — влияние НТП на развитие грузооборота в газотранспортной системе страны. Наряду с этим обосновано перераспределение средств, инвестируемых в развитие транспорта газа, за счет увеличения доли средств, направляемых на НТП, с учетом внедренных научных разработок в этот транспорт и эффективности вложений в НТП.

Сегодня технологический суверенитет и лидерство страны в мировой экономике отвечают насущным потребностям социально-экономического развития России, национальной цели на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г. Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (2024 г.)², планируется увеличить затраты на научные исследования и разработки не менее чем до 2% ВВП, в проекте бюджета РФ на 2026–2028 гг. предусмотрено около 1,9 трлн руб. на реализацию национальных проектов, направленных на обеспечение технологического лидерства³. Предстоит создать атмосферу благо-

² Трапезников В. (1970). Главный показатель // Известия. 17 янв. № 15. С. 1.

³ Минфин назвал сумму, заложенную в бюджет на нацпроекты по техлидерству // РИА Новости. 2025. 24 сент. URL: <https://ria.ru/20250924/byudzheth-2043920981.html>

приятствования для эффективного трансфера научного знания в экономику в слаженной экосистеме страны.

Во-вторых, энтропийно-информационный метод исследования поведения сложных систем пронизывает гамму научных изысканий в сфере взаимосвязей информации и самоорганизации систем с применением принципа максимума информационной энтропии в неравновесных процессах, составивших предмет изучения теории самоорганизации и ее синергетических приложений. В частности, они конструктивны для моделирования эволюции экономических систем и их хаотических и упорядоченных режимов с иерархией неустойчивых состояний, типичных для нынешнего пространства деловой среды с потоками мощных возмущений. Модельный анализ нелинейного поведения возмущенных экономических систем с толкованием их метаморфоз (перестроек, бифуркаций, аттракторов и т.д.) служит пониманию возникающих сценариев функционирования этих систем в нестационарном окружении.

Наряду с этим из энтропийно-информационных соображений уместно развивать анализ динамики и пределов изменения энтропии, количества информации и порядка функционирования эволюционирующей индустриальной системы с позиций обеспечения ее самоорганизации и обзора помех инновационной деятельности системы (Чупров, 2025а). Сформулированные теоретико-методологические выводы могут найти применение в технологиях экономико-математического моделирования и компьютерного эксперимента.

И, в-третьих, наращивание функций и оснащения информационно-коммуникационных технологий нацелено на снижение неопределенности среды посредством комплексирования сетей и каналов извлечения и поступления информации, ее систематизации и модернизации алгоритмов модельного обеспечения менеджмента индустриальных систем. Благодаря «добыванию» дополнительной информации и ее фильтрации удастся снизить нагрузку избыточной, увеличивать объем надлежащей информации и отчасти уменьшить энтропию возмущенного пространства систем, тем самым совершенствуя энтропийно-информационный анализ и прогноз средовых факторов управления индустриальными системами

Таким образом, статистическая парадигма управления В.А. Трапезникова вызвала к жизни большой комплекс научных исследований в области познания энтропийно-информационной природы и нелинейных закономерностей экономических систем и приложений к анализу их функционирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С опорой на фундаментальные исследования по термодинамике и статистической физике выдвинутая В.А. Трапезниковым энтропийно-информационная парадигма функционирования управляемых комплексов открывает широкий простор для дальнейших исследований и приложений его концепции к анализу эволюционирующих экономических структур. Чувствительные к воздействию как мировых и национальных институциональных помех, так и трендовых инновационно-технологических возмущений хаотизированные индустриальные системы становятся предметом обстоятельного исследования и моделирования в целях адаптивного управления ими в нестационарном пространстве. Присущие этим системам нелинейные по характеру изменения потребовали формализации энтропийных условий эффективного и устойчивого функционирования индустриальных систем.

Выражая органичную особенность своей парадигмы утверждением о том, что в процессах переработки информации «властвует» преимущественно экспонента (Трапезников, 1972, с. 10), В.А. Трапезников обосновал модель со статистической связью эффекта функционирования управляемого комплекса с его исходной неупорядоченностью и поступающей в комплекс управляющей информацией. С введением показателя уровня совершенства управления в модель Ферхюльста (Верхульста) и Реденура отображается нелинейная динамика эффекта и пределов изменения его и уровня совершенства управления системой, что позволяет признать адекватность этой модели для описания закономерности функционирования индустриальной системы.

С последующими разработками статистической парадигмы В.А. Трапезникова раскрывается нелинейная связь между количеством управляющей информации в индустриальной системе и уровнем совершенства управления ею, а также интерпретация полученного для него условия (неравенства) устойчивости хаотизированной системы в возмущенной среде со свойственными ему экспоненциально возрастающими темпами прироста управляющей информации. Наряду с этим нельзя обойти вниманием ценность для исследований агрегированного показателя уровня знаний по В.А. Трапезникову, обобщающего уровни совершенства системы и управления, и его определяющего значения для моделирования финансово-экономической деятельности промышленного предприятия.

Находит применение показатель меры порядка системы Г. Фёрстера в смысле шенноновского уче-

ния об информации в теории связи, которая с включением ее в экспоненциальную модель эффекта функционирования индустриальной системы дает возможность анализировать и трактовать влияние на него меры порядка системы и логарифмической модели этой меры в зависимости от неупорядоченности хаотизированной индустриальной системы и уровня несовершенства управления ею.

Перспективные исследования в развитие статистической парадигмы В.А. Трапезникова предполагают расширение круга вовлекаемых в анализ характеристик хаотизированных индустриальных систем и их метаморфоз, моделирование нелинейных феноменов поведения таких систем в различных сценарных условиях хозяйствования промышленных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берг А. (1965). Предисловие к первому русскому изданию // Кибернетика и управление производством. 2-е изд. М.: Наука. С. 3–6.
- Беспалов В.Г., Крылов В.Н., Михайлов В.Н. (2008). Основы геоинформатики. Раздел 1. СПб.: СПбГУ ИТМО. 204 с.
- Бриллоэн Л. (1966). Научная неопределенность и информация. М.: Мир. 271 с.
- Викулenco А.Е. (2012). Необходимость энтропийного управления инновационным развитием общества как сложной системы // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). № 15 (41). С. 1–23.
- Винер Н. (1983). Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Наука. 341 с.
- Гришина Н.А., Попов Е.И., Сатановский Р.Л. (1991). Развитие эффективной организации и управления производством. Иркутск: Иркутский политехнический институт (ИПИ). 59 с.
- Давыдова Г.В., Булгакова М.А. (2024). Совершенствование свойств и моделирование динамики роста экономической системы регионального лесного комплекса в условиях детерминированного хаоса // Известия Байкальского государственного университета. Т. 34. № 2. С. 331–340. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34\(2\).331-340](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(2).331-340)
- Завельский М.Г., Починщиков Л.Е. (1969). Об оценке деятельности по организации и управлению производством // Экономика и математические методы. Т. 5. Вып. 5. С. 763–768.
- Королев О.Л., Кусый М.Ю., Сигал А.В. (2022). Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике / под ред. проф. А.В. Сигала. М.: ИНФРА-М. 202 с. <https://doi.org/10.12737/1865188>
- Кучин Б.Л., Якушева Е.В. (1990). Управление развитием экономических систем: технический прогресс, устойчивость. М.: Экономика. 157 с.
- Прангишвили И.В. (2003). Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. М.: Наука. 428 с.
- Трапезников В.А. (1966). Автоматическое управление и экономика // Автоматика и телемеханика. Вып. 1. С. 5–22.
- Трапезников В.А. (1969). Вопросы управления экономическими системами // Автоматика и телемеханика. Вып. 1. С. 5–24.
- Трапезников В.А. (1971). Темп научно-технического прогресса — показатель эффективности управления экономикой // Автоматика и телемеханика. Вып. 4. С. 5–36.
- Трапезников В.А. (1972). Человек в системе управления // Автоматика и телемеханика. Вып. 2. С. 5–16.
- Трапезников В.А. (1983). Управление и научно-технический прогресс. М.: Наука. 224 с.
- Хитрова Т.И., Хитрова Е.М., Пешкова О.В. (2023). Технологические аспекты концепции формирования единого информационного пространства современного предприятия // Известия Байкальского государственного университета. Т. 33. № 4. С. 735–743. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33\(4\).735-743](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743)
- Чупров С.В. (2012). Управление устойчивостью производственных систем: теория, методология, практика. 2-е изд. Иркутск: Изд-во БГУЭП (Байкальского государственного университета экономики и права). 354 с.
- Чупров С.В. (2024а). Интеллектуализация и совершенство управления функционированием индустриальной системы в аксиоматике информационной энтропии // Известия Байкальского государственного университета. Т. 34. № 4. С. 638–647. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34\(4\).638-647](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(4).638-647)
- Чупров С.В. (2024б). Энтропийная и информационная парадигмы в концептуализации управления эффектом и устойчивостью функционирования индустриальной системы // Экономика и управление. Т. 30. № 12. С. 1510–1520. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-12-1510-1520>
- Чупров С.В. (2025а). Моделирование энтропийной динамики и информационный анализ индустриальной системы // Информатика и системы управления. № 3 (85). С. 29–40. https://ics.togudv.ru/media/2025/N85_03.pdf
- Чупров С.В. (2025б). Обобщение детерминированной и вероятностной мер состояний и организованности производственной системы // Новое в экономической кибернетике. № 3. С. 76–92.
- Шредингер Э. (1947). Что такое жизнь? С точки зрения физики. М.: Гос. изд-во иностранной лит-ры. 146 с.
- Энциклопедия кибернетики. (1975). Отв. ред. В.М. Глушков. Киев: Гл. ред. Украинской советской энциклопедии (УСЭ). Т. 1. 608 с.
- Al-Dwairi R., Daradkeh M. (2017). Self-service business intelligence adoption in business enterprises: the effects of information quality, system quality, and analysis quality. International Journal of Enterprise Information Systems, vol. 13 (3), pp. 65–85. <http://doi.org/10.4018/978-1-5225-3909-4.ch050>

- Chakraborty S. (2024). Eclectic Notes on Uncertainty, Information, and Classical Dynamics. *Physics.class-ph*. 49 p. URL: <https://arxiv.org/html/2404.13511v1>
- Chuprov S.V. (2024). Intellectualization and Stability of the Functioning of an Industrial System: Entropy, Information, Control, Effect. II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023): Conference Proceedings, Porto, Portugal. Ekaterinburg: Institute of Digital Economics and Law LLC. Pp. 868–875.
- Crooks G.E. (2026). On Measures of Entropy and Information. *Tech. Note 009 v0.9*. 24 p. URL: https://threeplusone.com/pubs/on_information.pdf
- Förster H. (1960). Self-organizing systems and their environments. *Self-Organizing Systems*. London: Pergamon Press. Pp. 31–50.
- Grishina N.A., Popov E.I., Satanovsky R.L. (1991). *Development of an Effective Organization and Production Management*. Irkutsk: IPI. 59 p. (In Russ.)
- Khitrova T.I., Peshkova O.V., Khitrova E.M. (2023). Technological Aspects of the Concept of Forming a Single Information Space of a Modern Enterprise. *Bulletin of Baikal State University*, vol. 33, no. 4, pp. 735–743. (In Russ.) [http://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33\(4\).735-743](http://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743)
- Korolev O.L., Kussiy M.Yu., Sigal A.V. (2022). *Application of Entropy in Modeling Decision-Making Processes in Economics*. Ed. by prof. A.V. Sigal. Moscow: INFRA-M. 202 p. (In Russ.) <http://doi.org/10.12737/1865188>
- Kuchin B.L., Yakusheva E.V. (1990). *Management of Economic Systems Development: Technical Progress, and Sustainability*. Moscow: Ekonomika. 157 p. (In Russ.)
- Prangishvili I.V. (2003). *Entropic and Other System Patterns: Issues of Complex Systems Management*. Moscow: Nauka. 428 p. (In Russ.)
- Schrödinger E. (1944). *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Moscow: State Publishing House of Foreign Literature. 146 p. (In Russ.)
- Trapeznikov V.A. (1966). Automatic control and economics. *Automation and Remote Control*, no. 1, pp. 5–22. (In Russ.)
- Trapeznikov V.A. (1969). Issues of Economic Systems Control. *Automation and Remote Control*, no. 1, pp. 5–24. (In Russ.)
- Trapeznikov V.A. (1971). The pace of scientific and technological progress is an indicator of the effectiveness of economic control. *Automation and Remote Control*, no. 4, pp. 5–36. (In Russ.)
- Trapeznikov V.A. (1972). Man in the Control System. *Automation and Remote Control*, no. 2, pp. 5–16. (In Russ.)
- Trapeznikov V.A. (1983). *Control and scientific and technological progress*. Moscow: Nauka. 224 p. (In Russ.)
- Vikulenko A.E. (2012). The Need for Entropic Management of Society's Innovative Development as a Complex System. *Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, no. 15 (41), pp. 1–23. (In Russ.)
- Wiener N. (1983). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Moscow: Nauka. 341 p. (In Russ.)
- Xiang Z., Tie L., Bing F. (2013). Entropy Model on the System Management Structure Order Degree Evaluation. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 278–280, pp. 2191–2194. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.2191>
- Robinson D.W. (2008). Entropy and Uncertainty. *Entropy*. no. 10, pp. 493–506. <http://doi.org/10.3390/e10040493>
- Sethna J.P. (2025). *Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters and Complexity*. Oxford: Clarendon Press. 494 p.
- Qixin H., Yajing Z. (2024). Analyzing the Effectiveness of Corporate Management Decision King Using Information Entropy and Information Gain Ratio. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9 (1), pp. 1–14. <http://doi.org/10.2478/amns-2024-1107>

REFERENCES

Berg A. (1965). *Preface to the first Russian edition. Cybernetics and Management*. 2nd ed. Moscow: Nauka, pp. 3–6/ (In Russ.)

Bespalov V.G., Krylov V.N., Mikhailov V.N. (2008). *Fundamentals of Geoinformatics*. Section 1. St. Petersburg: SPbSU ITMO. 204 p. (In Russ.)

Brillouin L. (1966). *Scientific uncertainty and information*. Moscow: Mir. 271 p. (In Russ.)

Chuprov S.V. (2012). *Management of Stability of Production Systems: Theory, Methodology, and Practice*. 2nd ed. Irkutsk: BSUEL (Baikal State University of Economics and Law) Publishing House. 354 p. (In Russ.)

Chuprov S.V. (2024a). Intellectualization and Management Improvement of Industrial System Functioning in Axiomatics of Information Entropy. *Bulletin of Baikal State University*, vol. 34, no. 4, pp. 638–647 (In Russ.) [http://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34\(4\).638-647](http://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(4).638-647)

Chuprov S.V. (2024b). Entropy and Information Paradigms in Conceptualizing the Management of the Effect and Stability of the Industrial System. *Economics and Management*, vol. 30, no. 12, pp. 1510–1520. (In Russ.) <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-12-1510-1520>

Chuprov S.V. (2025a). Modeling of Entropic Dynamics and Information Analysis of an Industrial System. *Information Science and Control Systems*, no. 3 (85), pp. 29–40. (In Russ.) URL: https://ics.togudv.ru/media/2025/N85_03.pdf

Chuprov S.V. (2025b). Generalization of Deterministic and Probabilistic Measures of States and the Organization of a Production System. *New in Economic Cybernetics*, 2025, no. 3, pp. 76–92. (In Russ.)

Davydova G.V., Bulgakova M.A. (2024). Improving the Properties and Modeling the Growth Dynamics of the Economic System of the Regional Forest Complex in Conditions of Deterministic Chaos. *Bulletin of Baikal State University*, vol. 34, no. 2, pp. 331–340. (In Russ.) [http://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34\(2\).331-340](http://doi.org/10.17150/2500-2759.2024.34(2).331-340)

Encyclopedia of Cybernetics. (1975). Ed. by V.M. Glushkov. Kiev: Ch. ed. of Ukrainian Soviet Encyclopedia (USE), vol. 1. 608 p. (In Russ.)

- Zavelsky M.G., Pochinschikov L.E. (1969). On the Evaluation of Production Organization and Management Activities. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 5, no. 5. pp. 763–768. (In Russ.)
- Al-Dwairi R., Daradkeh M. (2017). Self-service business intelligence adoption in business enterprises: the effects of information quality, system quality, and analysis quality. *International Journal of Enterprise Information Systems*, vol. 13, no. 3, pp. 65–85. <http://doi.org/10.4018/978-1-5225-3909-4.ch050>
- Chakraborty S. (2024). *Eclectic Notes on Uncertainty, Information, and Classical Dynamics*. Physics.class-ph. 49 p. URL: <https://arxiv.org/html/2404.13511v1>
- Crooks G.E. (2026). On Measures of Entropy and Information. *Tech. Note 009 v0.9*. 24 p. URL: https://threeplusone.com/pubs/on_information.pdf
- Förster H. (1960). *Self-organizing systems and their environments. Self-Organizing Systems*. London: Pergamon Press. Pp. 31–50.
- Robinson D.W. (2008). Entropy and Uncertainty. *Entropy*, no. 10, pp. 493–506. <http://doi.org/10.3390/e10040493>
- Sethna J.P. (2025). *Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters and Complexity*. Oxford: Clarendon Press. 494 p.
- Qixin H., Yajing Z. (2024). Analyzing the Effectiveness of Corporate Management Decision Making Using Information Entropy and Information Gain Ratio. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–14. <http://doi.org/10.2478/amns-2024-1107>
- Xiang Z., Tie L., Bing F. (2013). Entropy Model on the System Management Structure Order Degree Evaluation. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 278–280, pp. 2191–2194. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.2191>