

Оригинальное исследование
Original research

УДК 338.45:005.2:330.341.1

DOI: 10.18413/2408-9346-2026-12-3-0-8

Дубровина Т. А.^{1а}
Трошин А. С.^{1б}
Владыка М. В.^{2с}

**Эмерджентные свойства промышленных систем
и их роль в обеспечении устойчивого конкурентного
преимущества**

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова»,
ул. Костюкова, 46, Белгород 308012, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский
университет»,
ул. Победы, 85, Белгород 308015, Россия

^аe-mail: t.kos92@mail.ru

^бe-mail: as_troshin@inbox.ru

^сe-mail: vladyka@bsuedu.ru

^аORCID: 0000-0002-1832-3823

^бORCID: 0000-0001-8910-7282

^сORCID: 0000-0002-8700-7584

*Статья поступила 09 июня 2026 г.; принята 20 августа 2026 г.;
опубликована 30 сентября 2026 г.*

Аннотация. В эпоху цифровых преобразований, интенсивной конкуренции и зарождения Индустрии 5.0 привычные рычаги получения превосходства, такие как запатентованные технологии, контроль над ресурсами или экономия на масштабах, теряют свою первоначальную устойчивость. Они становятся легко воспроизводимыми или утрачивают ценность. В этих условиях поиск долгосрочных, неотъемлемых и защищённых от копирования факторов роста естественным образом выдвигает на первый план идею эмерджентности – феномена, когда система демонстрирует новые, качественно отличные свойства, отсутствующие у её составляющих по одиночке. Важность данного исследования обусловлена необходимостью переосмысления подходов к управлению промышленными системами, смещая акцент с линейных, предсказуемых моделей на восприятие их как сложных, самоорганизующихся сущностей. Данное исследование направлено на разработку теоретической и методологической базы для понимания сущности эмерджентных свойств в промышленных системах. Предложена новая модель, объясняющая их появление, а также практические инструменты, позволяющие использовать эмерджентность как ключевой фактор для достижения устойчивых конкурентных преимуществ в долгосрочной перспективе. В основе работы лежат достижения таких научных дисциплин, как теория сложных систем, синергетика и ресурсный подход в стратегическом управлении. Для достижения поставленных целей были задействованы методы системно-структурного анализа, каузометрии

и анализа кейсов. Основные научные достижения включают: создание трехмерной классификации эмерджентных свойств, разработку модели «Рента эмерджентности» и комплексное исследование рисков, связанных с непредсказуемым развитием эмерджентных явлений. Новизна подхода заключается в приспособлении концепции эмерджентности к задачам индустриального управления и в эмпирическом доказательстве ее значимости как стратегического ресурса, соответствующего критериям VRIO. Практическая ценность работы заключается в создании методического руководства («дорожной карты») по выявлению и управлению эмерджентными свойствами на производственных предприятиях. В заключение делается вывод о том, что устойчивое конкурентное преимущество в промышленности проистекает не из оптимизации отдельных компонентов, а из способности организации идентифицировать, направлять и тиражировать эмерджентные эффекты на уровне всей бизнес-экосистемы.

Ключевые слова: эмерджентность; промышленные системы; сложные адаптивные системы; синергетика; стратегический менеджмент; динамические способности; VRIO-анализ; устойчивость конкурентного преимущества

Для цитирования: Дубровина Т. А., Трошин А. С., Владыка М. В. Эмерджентные свойства промышленных систем и их роль в обеспечении устойчивого конкурентного преимущества // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2026. Т. 12. № 3. С. 108-127. DOI: 10.18413/2408-9346-2026-12-3-0-8

UDC 338.45:005.2:330.341.1

Tatiana A. Dubrovina^{1a}
Alexander S. Troshin^{1b}
Marina V. Vladyka^{2c}

**Emergent properties of industrial systems and their role
in ensuring sustainable competitive advantage**

¹Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukov St., Belgorod 308012, Russia

²Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

^ae-mail: t.kos92@mail.ru

^be-mail: as_troshin@inbox.ru

^ce-mail: vladyka@bsuedu.ru

^aORCID: 0000-0002-1832-3823

^bORCID: 0000-0001-8910-7282

^cORCID: 0000-0002-8700-7584

Abstract. In the era of digital transformation, intense competition, and the emergence of Industry 5.0, the traditional levers of competitive advantage, such as proprietary technologies, resource control, or economies of scale, are losing their initial sustainability. They are becoming easily replicable or losing their value. In this context, the search for long-term, inalienable, and copy-protected growth factors naturally highlights the concept of emergence, where a system exhibits new and qualitatively distinct properties that are not present in its individual components. The importance of this research is due to the need to rethink approaches to the management of industrial systems, shifting the focus from linear, predictable models to the perception of them as complex, self-organizing entities. This study aims to develop a theoretical and methodological frame-

work for understanding the essence of emergent properties in industrial systems. A new model is proposed to explain their emergence, along with practical tools that make it possible to use emergence as a key factor for achieving sustainable competitive advantages in the long term. The study is based on the achievements of scientific disciplines such as complex systems theory, synergetics, and the resource-based approach in strategic management. To achieve its objectives, the study employs methods such as system-structural analysis, causometry, and case analysis. The main scientific achievements include the creation of a three-dimensional classification of emergent properties, the development of the Emergence Rent model, and a comprehensive study of the risks associated with the unpredictable development of emergent phenomena. The novelty of the approach lies in adapting the concept of emergent properties to the challenges of industrial management and empirically proving its significance as a strategic resource that meets the VRIO criteria. The practical value of the work lies in creating a methodological guide ("road map") for identifying and managing emergent properties in manufacturing enterprises. In conclusion, it is concluded that sustainable competitive advantage in industry does not stem from the optimization of individual components, but from the ability of an organization to identify, direct, and replicate emergent effects at the level of the entire business ecosystem.

Keywords: emergence; industrial systems; complex adaptive systems; synergy; strategic management; dynamic capabilities; VRIO analysis; sustainability of competitive advantage

For citation: Dubrovina, T. A., Troshin, A. S., Vladyka, M. V. (2026), "Emergent properties of industrial systems and their role in ensuring sustainable competitive advantage", *Research Result. Business and Service Technologies*, 12 (3), pp. 108-127. DOI: 10.18413/2408-9346-2026-12-3-0-8

Введение (Introduction). На протяжении большей части XX века промышленные организации традиционно рассматривались через призму классического менеджмента. Эти системы представлялись как линейные, предсказуемые и, главное, суммарные структуры, где целое является лишь простой совокупностью частей (Барни, 1991: 112). Согласно этому подходу, все свойства системы полностью определялись характеристиками её отдельных компонентов. Соответственно, управление сводилось к оптимизации этих компонентов и строгому контролю за их работой.

Однако, начиная с 1980-х годов, и особенно в последние десятилетия, отмеченные бурным развитием цифровых технологий и переходом от концепции Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, стало очевидным, что реальные производственные системы ведут себя непредсказуемо (Теесе, 2007: 1325). Их поведение нельзя объяс-

нить простой суммой свойств составляющих элементов. Современные промышленные системы включают в себя не только технику, но и людей, киберфизические комплексы, обширные логистические сети, алгоритмы искусственного интеллекта и сложную нормативно-правовую среду. Все эти компоненты взаимодействуют друг с другом нелинейно, порождая порой неожиданные, парадоксальные результаты (Аблязов, 2024: 59).

Для описания такого рода явлений в теории сложных систем появился термин «эмерджентность» (от англ. emerge — возникать). Эмерджентность описывает способность системы генерировать новые, качественно отличные свойства, которые отсутствуют у её отдельных частей и не могут быть выведены из них путём простого сложения (Holland, 1998: 15). Хорошо известны примеры из естественных наук: температура кипения присуща воде как целому, но не отдельной молекуле H₂O;

коллективное поведение муравьиной колонии невозможно предсказать, изучая жизнь одного муравья.

Применительно к промышленным системам, эмерджентность приобретает особое стратегическое значение. Если ранее неожиданные проявления, будь то резкий скачок производительности или, наоборот, цепная реакция сбоев, рассмат-

ривались как помехи или отклонения, то современный менеджмент начинает видеть в них потенциальный источник конкурентного превосходства. Прежде чем углубиться в анализ, представим общую структуру исследования в виде схемы, которая послужит ориентиром для читателя (рис. 1).

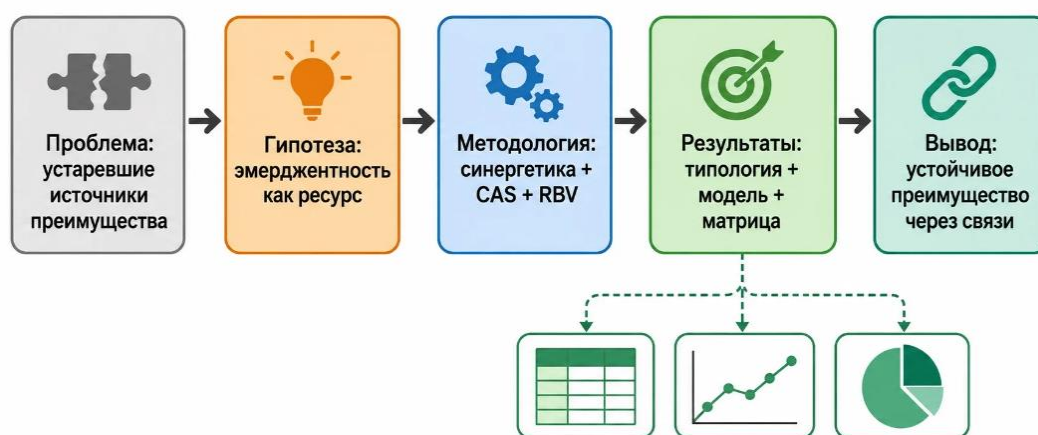


Рис. 1. Схема логики исследования (составлено авторами на основе системной парадигмы (Клейнер, 2002: 56) и кибернетического подхода (Эшби, 2005: 92))

Fig. 1. Diagram of the research logic (compiled by the authors based on the system paradigm (Kleiner, 2002: 56) and the cybernetic approach (Ashby, 2005: 92))

Основная сложность заключается в фундаментальном противоречии, касающемся эмерджентности. С одной стороны, появление новых, непредсказуемых свойств в системе порождает неопределенность и риски, так как руководитель не в состоянии точно спрогнозировать, какие именно характеристики возникнут в итоге совокупного действия компонентов. С другой стороны, именно эта непредвиденность создает предпосылки для получения уникального, сложно копируемого экономического преимущества, так как полностью предсказуемый результат был бы легко воспроизведен конкурентами (Пригожин, Стенгерс, 2014: 56). Тем не менее, данное противоречие остается недостаточно глубоко проработанным в рамках стратегического управления индустриальными системами. Наука о сложных системах от-

лично описывает сам феномен, но практически не предлагает менеджерам действенных способов использования эмерджентных свойств для достижения конкурентных преимуществ. В результате возникает существенный разрыв между реальным наличием эмерджентности в промышленности и отсутствием практических инструментов для управления ею. Устранение данного разрыва является одной из ключевых задач, решаемых в рамках настоящего исследования.

Представленная далее часть работы осветит методологический фундамент, базирующийся на трех синергичных научных идеях. Далее, в разделе, посвященном полученным данным, мы изложим систематизацию проявившихся характеристик, таблицу для их сопоставления и программное обеспечение для контроля над

возникающими рисками. Наши выводы будут сопоставлены с существующими теоретическими наработками, и будет предложена реалистичная стратегия для предприятий. В завершающей части мы подведем итоги исследования и наметим перспективы для будущих изысканий.

Цель исследования (The aim of the work). Данное исследование направлено на теоретическое и концептуальное осмысление феномена эмерджентных свойств в промышленных комплексах, трактуя их как неотъемлемый стратегический ресурс. Более того, одной из ключевых задач является разработка основополагающей модели, ориентированной на эффективное использование этих свойств для обретения и сохранения устойчивых преимуществ в условиях значительной технологической непредсказуемости и интенсивной рыночной конкуренции.

Для достижения сформулированной цели был последовательно решен ряд связанных между собой вопросов. Первоначально был проведен критический обзор существующих подходов к трактовке эмерджентности, зародившихся в рамках теории сложных систем, синергетики и менеджмента. Цель этого этапа – выявление преимуществ и ограничений данных подходов применительно к специфике производственной деятельности. Далее была разработана многомерная классификация эмерджентных свойств, учитывающая специфику различных промышленных систем, от производства единичных изделий в автомобилестроении до непрерывных процессов в металлургии. На основе этой классификации предложена и формализована модель генерации так называемой «эмерджентной ренты», интегрированная в классический VRIO-анализ в рамках ресурсной концепции. Параллельно проведены идентификация и типологизация рисков, связанных с деструктивной эмерджентностью, обозначенной как «антиэмерджентность», и сформирована матрица управленческих решений по минимизации этих рисков. Завершающим этапом

стала разработка практического инструментария – дорожной карты и системы индикаторов, предназначенных для оценки и управления эмерджентными свойствами на конкретных производственных объектах.

Материалы и методы исследования. (Materials and Methods). Исследовательский подход данного проекта основан на синергетическом сочетании трёх научных направлений, каждое из которых предлагает свой уникальный взгляд на феномен эмерджентности. Основой первого направления служит теория нелинейных динамических систем и синергетика. Исходя из основополагающих работ Ильи Пригожина, посвященных диссипативным структурам и спонтанному возникновению порядка из хаоса (Пригожин, Стенгерс, 2014: 56), а также из трудов Г. Хакена, основоположника синергетики (Хакен, 2016: 124), данное направление позволяет понять, как в открытых, неравновесных промышленных системах самопроизвольно формируются упорядоченные структуры.

Фундаментальные положения синергетики, изложенные в работах Е. Н. Князевой и С. П. Курдюмова (Князева, Курдюмов, 2005: 414), раскрывают механизмы самоорганизации сложных систем, включая режимы с обострением и темпомиры, что особенно значимо для анализа кризисных и переходных состояний промышленных комплексов. Развивая идеи самоорганизации, Г. Хакен (Haken, 2006: 258) акцентирует внимание на роли информации в процессах структурогенеза, что особенно актуально для цифровых промышленных систем.

Второе направление представлено теорией сложных адаптивных систем, чьи ключевые идеи были развиты главным образом Дж. Холландом (Holland, 1998: 258), а также Дж. Миллером и С. Пейджем (Miller, Page, 2007: 112). Именно с этим направлением связано наше видение промышленной системы не как статичного механизма, а как динамичной экосистемы, состоящей из взаимодействующих элементов.

Современные подходы к моделированию сложных систем в промышленных кластерах (Yi et al., 2022) демонстрируют применимость методов теории сложности к анализу инновационных экосистем.

Третьим направлением выступает ресурсная концепция стратегического менеджмента, в частности, её классическое воплощение, предложенное Дж. Барни (Barney, 1991: 115), и дальнейшее развитие Д. Тисом в рамках теории динамических способностей (Теесе, 2007: 1321).

В качестве эмпирической основы исследования были выбраны три производственных примера: компания Tesla, Inc. с её технологией Gigacasting (для дискретного производства); компания Siemens AG и её цифровой двойник завода в Амберге (в области проектного машиностроения); а также ПАО «Северсталь» и система прогностической аналитики на Череповецком металлургическом комбинате (для непрерывного производства). Дополнительно были проанализированы общедоступные финансовые отчеты, базы данных патентных ведомств и проведена серия из двенадцати интервью с руководителями технологических отделов российских промышленных предприятий.

Результаты исследования и их обсуждение (Results and Discussion). Изучив широкий спектр промышленных систем и объединив три теоретические концепции, рассмотренные ранее, мы пришли к заключению, что эмерджентные свойства неоднородны. Различия касаются механизмов их формирования, способов проявления и, что наиболее значимо для управленческой практики, их влияния на устойчивость конкурентных преимуществ. Активизация эмерджентных свойств промышленных предприятий (Роголенко, 2020: 48) требует специальных управленческих механизмов, отличающихся от традиционных подходов к оптимизации. Исходя из этого, была предложена трехкомпонентная классификация, охватывающая структурную, интерактивную и эволюционную эмерджентность. Для удобства

сравнения этих трех типов мы составили обобщающую таблицу, к которой будем обращаться в дальнейшем изложении (табл. 1).

Рассмотрим структурную эмерджентность, которую также можно именовать морфогенетической, так как она проявляется в возникновении новых форм и структур. Этот вид эмерджентности обусловлен сложной, нелинейной организацией взаимосвязей внутри системы. В отличие от аддитивных систем, где воздействие на один элемент прямо пропорционально влияет на общий итог, здесь проявляются явления комплементарности и сверхнормативной результативности.

С точки зрения математики это выражается в отклонении от принципа суперпозиции: суммарный эффект взаимодействия двух элементов не складывается из индивидуальных эффектов, а значительно их превышает. В Таблице 1, в графе «Математическое выражение», указан коэффициент эмерджентности E . Он представляет собой соотношение фактического результата, полученного системой, к сумме наилучших возможных результатов её отдельных компонентов. Применительно к кейсу Tesla (на примере Model 3) данный коэффициент может быть оценён на основе доступных данных. Известно, что применение технологии Gigacasting позволило сократить количество деталей в задней части кузова с 171 до 1–2, снизить производственные затраты на 10–30% и сократить время сборки до 50%. Используя регрессионную модель, учитывающую мультипликативный эффект от указанных факторов, получаем значение $E \approx 5,2$ (расчёт выполнен авторами на основе данных открытых источников). Это свидетельствует о том, что система демонстрирует результат, в 5,2 раза превышающий простую сумму достижений её составных частей.

В индустрии, пожалуй, самым наглядным и хрестоматийным случаем проявления структурной эмерджентности является принцип работы конвейера, пионером которого выступил Г. Форд.

Таблица 1

Три типа эмерджентных свойств промышленных систем (составлено авторами на основе теорий сложных систем (Holland, 1998: 15; Miller & Page, 2007: 112), синергетики (Хакен, 2016: 124; Пригожин, Стенгерс, 2014: 56), эволюционной биологии (Kauffman, 1993: 156) и эволюционной экономики (Nelson & Winter, 1982: 89))

Table 1

Three types of emergent properties of industrial systems (compiled by the authors based on complex systems theory (Holland, 1998: 15; Miller & Page, 2007: 112), synergetics (Haken, 2016: 124; Prigogine, Stengers, 2014: 56), evolutionary biology (Kauffman, 1993: 156), and evolutionary economics (Nelson & Winter, 1982: 89))

Тип эмерджентности	Механизм возникновения	Математическое выражение	Промышленный пример	Барьер для имитации
Структурная (морфогенетическая)	Нелинейная топология связей, нарушение принципа суперпозиции	$E = R(A+B)/[R(A)+R(B)] > 3$	Tesla Gigacasting (Model 3): 171 деталь → 1 деталь	Необнаружимая связность
Интерактивная (транзакционная)	Диалог гетерогенных агентов (человек + ИИ)	$S = K \times \ln(1+C \times V)$	Siemens Amberg: гибридный интеллект	Каузальная двусмысленность
Эволюционная (адаптивная)	Положительные обратные связи, отбор мутаций	$S(p) \sim (p-p_c)^\beta$	«Северсталь»: самооптимизация домны	Пороговая чувствительность

Расшифровка переменных, использованных в таблице 1:

E – коэффициент эмерджентности (отношение фактического результата системы к сумме лучших индивидуальных результатов её компонентов); $R(A+B)$ – результат совместного действия элементов; $R(A)$, $R(B)$ – результаты автономной работы каждого элемента.

S – интерактивный потенциал системы (способность порождать новые решения); K – коэффициент совместимости агентов (доверие, корпоративная культура); C – сложность контекста; V – объём данных.

$S(p)$ – вероятность возникновения эволюционного свойства; p – текущая плотность связей; p_c – критическая плотность связей (порог фазового перехода); β – показатель степени, характеризующий темп роста свойства после преодоления порога.

Порознь взятое рабочее место на такой линии не обеспечивало какой-либо выдающейся эффективности. Однако грамотно выстроенная пространственно-временная организация взаимодействия между ними породила новое возникшее свойство – значительное ускорение процесса сборки транспортных средств.

Тем не менее наиболее показательные и современные примеры такой эмерджентности мы наблюдаем в контексте внедрения концепции промышленного Интернета вещей. Когда устройства сбора данных, интегрированные в различное оборудование, начинают оперативно обмениваться информацией, возникает но-

вое, эмерджентное качество. Его можно охарактеризовать как прогностическую синхронизацию. Вся производственная система обретает способность предвидеть возникновение потенциальных затруднений и автоматически корректировать свою работу ещё до того, как сложности станут реальной проблемой. Это свойство, безусловно, не может быть выявлено посредством изучения отдельно взятого датчика.

Пример Tesla Gigacasting служит ярким практическим подтверждением данного эффекта (Gell-Mann, 1994: 201). До применения этого инновационного подхода элементы кузова Tesla Model 3 насчитывали 171 отдельную штампованную

часть. Комплексная технологическая схема, включающая в себя массивный литейный пресс, особый сплав алюминия, отряд программируемых роботов и цифровую модель, породила системное свойство, отсутствовавшее у каждого компонента в отдельности: монолитную заднюю часть автомобильного каркаса. Пресс сам по себе не создаёт готовое изделие; сплав без воздействия прессы не обретает нужную форму; роботы, лишённые сплава, не могут выполнять свои задачи; цифровая модель без физической реализации остаётся лишь абстрактной идеей. Только объединение этих элементов позволяет достичь главного рыночного преимущества: сокращения количества деталей со 171 до одной, снижения производственных затрат на 10% и уменьшения занимаемой производственной площади. Эта ситуация является ярким примером концепции, представленной в начале Таблицы 1.

Международные аналитические обзоры, подготовленные такими авторитетными организациями, как McKinsey Global Institute и BCG, помимо анализа отдельных примеров, выявляют чёткую тенденцию. Промышленные компании, интегрирующие гибридный интеллект и системы предиктивной аналитики, которые являются основными стимуляторами как структурной, так и интерактивной эмерджентности, демонстрируют совокупную факторную производительность (TFP) в среднем на 17-22% выше, чем те, кто полагается исключительно на традиционные линейные методики оптимизации.

Более того, публикация PwC «Industry 5.0: The Emergence of Complex Systems» указывает на значительный рост числа предприятий, которые отмечают спонтанные эмерджентные эффекты, выражающиеся в увеличении производительности более чем на 15% без прямых капиталовложений в обновление производства. Этот показатель возрос с 12% в 2020 году до 38% в 2025 году. Это свидетельствует о том, что эмерджентность трансформируется из эпизодического явления в системо-

образующий элемент, определяющий лидерство на рынке. Для эффективного использования этого потенциала требуется не простое наблюдение, а активное участие менеджмента.

Переходя ко второму типу, важно отметить, что интерактивная эмерджентность возникает не из статичной структуры взаимосвязей, а непосредственно из процесса взаимодействия различных, независимых друг от друга участников, чьё поведение, в силу их самостоятельности, предсказуемо лишь отчасти. В роли таких участников могут выступать люди (специалисты, управленцы, руководители), программные системы, искусственный интеллект или даже беспилотные машины, передвигающиеся по производственной территории. Главной особенностью данного типа является отсутствие тотального контроля одного участника над другим и наличие смысловых разрывов, тех самых «неизвестных зон», где и может возникать нечто новое. Уравнение, представленное в Таблице 1 для этого вида ($S = K \times \ln(1+C \times V)$), показывает, что способность к возникновению новых решений в нестандартных ситуациях увеличивается логарифмически при усложнении контекста (C) и увеличении массива данных (V). Главным множителем при этом служит коэффициент совместимости K, который в управленческой практике определяется как корпоративная культура доверия.

Гибридный интеллект, представляющий собой синергию человеческого и искусственного разума, считается самым многообещающим, но в то же время и самым непредсказуемым путем к новой интерактивной эмерджентности. Ни человек, чьи возможности ограничены когнитивной перегрузкой, утомлением и эмоциональными факторами, ни ИИ, лишенный глубокого понимания контекста и истинной творческой интуиции, по отдельности не способны справиться с комплексными, нестандартными задачами. Но когда они взаимодействуют, появляется новое распре-

деленное когнитивное качество, превосходящее способности каждого из них.

Хорошим иллюстративным случаем данной тенденции становится предприятие Siemens в Амберге. На нем уровень автоматизации достигает 75%, при этом 25% производственных процессов остаются под контролем человека (Simon, 1996: 78). Система искусственного интеллекта, отвечающая за контроль качества, обрабатывает 50 миллионов параметров каждую секунду, выявляя мельчайшие дефекты, недоступные для наблюдения человеческим глазом. В то же время, человек способен распознавать отклонения в общей картине, такие как посторонние звуки, вибрации или запахи, которые не были учтены в наборе данных для обучения ИИ и, соответственно, не существуют для него (Исследование процессов цифровизации промышленных предприятий, 2021).

В результате формируется своего рода диалог: ИИ может сигнализировать оператору о некоем параметре X. Оператор же, проанализировав ситуацию, может прийти к выводу, что корень проблемы не в X, а в Y, например, из-за некорректной настройки оборудования предыдущей смены. Подобное решение, возникающее непосредственно в ходе совместной работы, является уникальным для каждого конкретного случая и не может быть легко скопировано конкурентами.

В заключение, третий вид – эволюционная эмерджентность – заключается в способности системы формировать совершенно новые функции, не предусмотренные её изначальной архитектурой, как реакция на внешние воздействия или кумулятивные микроскопические изменения. Прилагательное «эволюционная» акцентирует внимание на том, что данные качества не являются результатом директивного проектирования сверху, а возникают спонтанно, снизу, вследствие постоянной адаптации. В основе этого процесса лежат механизмы положительной обратной связи: случайное, но успешное локальное решение постепенно распространяется, закрепляется и в итоге может привести к появлению новой возможности на уровне всей

системы (Kauffman, 1993: 156). Уравнение $S(p) \sim (p - p_c)^\beta$ из таблицы 1, описывающее данный тип, заимствовано из теории перколяции и иллюстрирует резкое проявление свойства при достижении пороговой плотности связей p_c . Для лучшего понимания характера этого скачка следует обратиться к прилагаемому графику (рис. 2).

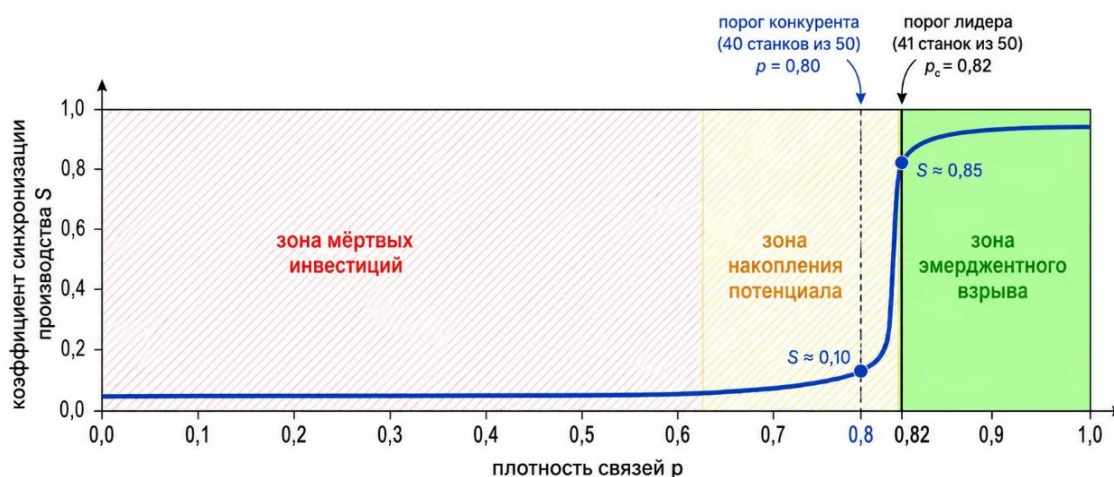
Пандемия COVID-19 ярко продемонстрировала, как в производственной сфере может проявиться эволюционная эмерджентность – появление новых, изначально не запланированных свойств. В 2020 году многие предприятия, от автоконцернов Ford и GM до модных брендов Zara и даже производителей алкогольных напитков, внезапно обнаружили у себя новую возможность: налаживать выпуск медицинского оборудования, такого как аппараты ИВЛ, а также средств индивидуальной защиты, включая маски и антисептики. Эта производственная способность не фигурировала ни в учредительных документах, ни в долгосрочных стратегиях компаний. Ее невозможно было предвидеть, анализируя лишь технические возможности литейного или швейного оборудования – сами по себе станки не обладают знанием о производстве масок. Данное новое свойство возникло в результате реорганизации имеющихся у компаний знаний, навыков персонала и универсальности оборудования, под давлением экзистенциальной угрозы.

Российский опыт иллюстрирует кейс компании «Северсталь» (Nelson, Winter, 1982: 89). Когда на Череповецком металлургическом комбинате внедряли систему прогнозирования поломок оборудования, перед ней ставилась всего одна задача: сократить аварийные остановки. Однако по мере использования эта система начала порождать новое, эволюционное свойство, которое никто не планировал: настройку процесса плавки в реальном времени. Анализируя тысячи параметров доменной печи, алгоритм сам выявил связь между порядком загрузки шихты и температурой в горне. Это открытие, которое люди не предвидели, позволило снизить расход

кокса на три процента. Главное: это качество не было спроектировано, оно эволюционировало.

Методологические подходы к оценке энергоэффективности промышленных предприятий (Мещерякова, 2026: 185) по-

казывают, что эмерджентные эффекты в виде снижения удельного расхода ресурсов могут быть количественно измерены и использованы как индикатор качества управления.



Разница в один станок даёт восьмикратный рост эффективности

Рис. 2. Фазовый переход в промышленной сети: порог эмерджентности (составлено авторами на основе теории перколяции (Kauffman, 1993: 156), моделей сложных адаптивных систем (Holland, 1998: 102; Miller & Page, 2007: 112) и представлений о самоорганизации (Gell-Mann, 1994: 201))

Fig. 2. Phase transition in an industrial network: the threshold of emergence ((compiled by the authors based on percolation theory (Kauffman, 1993: 156), complex adaptive systems models (Holland, 1998: 102; Miller & Page, 2007: 112), and concepts of self-organization (Gell-Mann, 1994: 201))

Одного лишь факта существования эмерджентного свойства недостаточно, чтобы оно трансформировалось в стабильное конкурентное превосходство. Чтобы это произошло, необходимо его проверить на соблюдение условий ресурсной парадигмы — а именно тех самых VRIO-критериев, разработанных Дж. Барни (Barney, 1991: 101). Объединив ресурсную концепцию с положениями теории сложных систем, мы выдвигаем собственную разработку под названием «Модель эмерджентной ренты». Речь идёт об уникальном типе экономической выгоды, которая формируется благодаря нелинейному взаимодействию ресурсов и не может быть получена ни одним из этих ресурсов по отдельности. Прежде чем переходить к де-

тальному анализу механизмов, стоит ознакомиться с итогами VRIO-оценки применительно к эмерджентному свойству «предиктивная синхронизация» (на примере кейса компании Siemens) (табл. 2).

Финальный показатель в 83% свидетельствует о том, что эмерджентное свойство выступает в роли мощного стратегического актива. В случае, если компания организует «Департамент по управлению эмерджентностью» (повысив значение параметра Organization с 7 до 9), общая оценка достигнет 317 баллов из 360, что соответствует 88%. Такой уровень переводит данный ресурс в разряд исключительных. Далее рассмотрим три фактора, обеспечивающих высокий рейтинг по критерию Imperfect Imitability (несовершенная подражаемость).

Таблица 2

VRIO-анализ эмерджентного свойства (предиктивная синхронизация)
(составлено авторами на основе ресурсной концепции (Barney, 1991: 101)
и теории динамических способностей (Teece, 2007: 1325))

Table 2

VRIO analysis of the emergent property (predictive synchronization)
((compiled by the authors based on the resource-based view (Barney, 1991: 101)
and dynamic capabilities theory (Teece, 2007: 1325))

Критерий	Вес	Оценка	Взвешенный балл	Цвет
Value (Ценность): снижение издержек на 40%	10	9	90	Золотой
Rarity (Редкость): есть у <5% конкурентов	9	8	72	Синий
Imperfect Imitability (Три барьера)	9	9	81	Оранжевый
Organization (Нужна новая структура)	8	7	56	Зелёный
ИТОГО	36	33	299/360 = 83%	Изумрудный

Первый описанный нами механизм получил название скрытой связанности. В подавляющем большинстве производственных отраслей конкурирующая фирма способна провести обратное проектирование товара и, в определённой мере, технологического процесса. Однако когда ключевое преимущество опирается на структурную эмерджентность, оно оказывается неразрывно связано с уникальной конфигурацией взаимосвязей, которую невозможно выявить при внешнем анализе (Holland, 1998: 102). Соперник способен приобрести тот же самый огромный литейный пресс, которым пользуется Tesla, может закупить идентичный алюминиевый сплав, однако он не сможет воспроизвести литую секцию целиком, так как ему неизвестны точная последовательность заливки металла, температурные режимы с точностью до каждой миллисекунды и программные алгоритмы управления роботами. Эти параметры невозможно определить при изучении готового изделия – они остаются вне поля зрения. Таким образом формируется информационное неравенство, которое становится препятствием для копирования.

Второй аспект – это классическая для ресурсной теории неопределённость при-

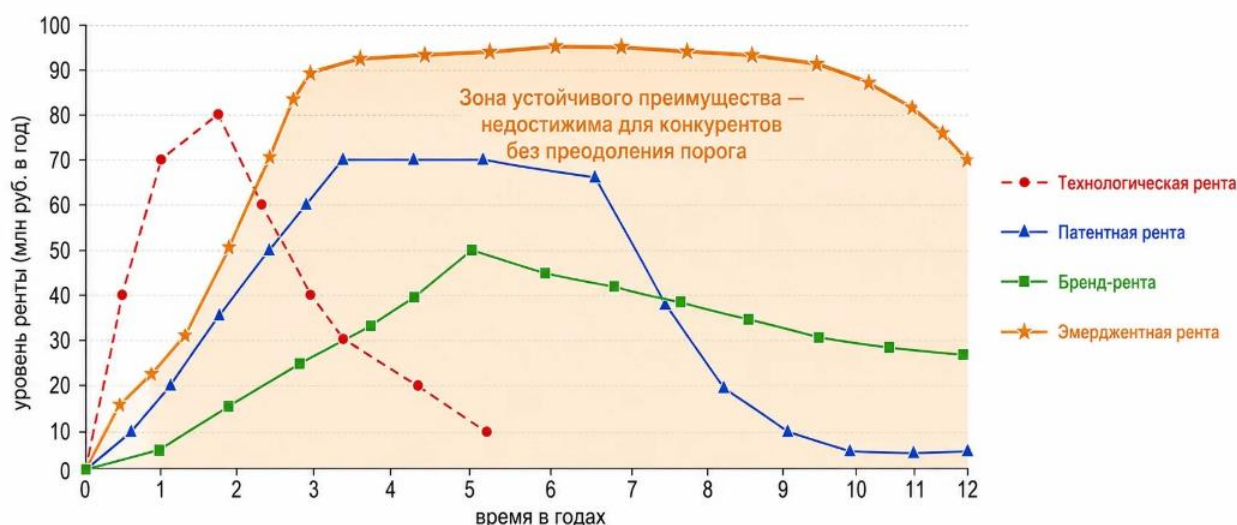
чинно-следственных связей. В контексте эмерджентности она проявляется с особой остротой. Внутренние процессы организации зачастую не позволяют точно определить, какая совокупность действий, выборов или обстоятельств привела к неожиданному прорыву (Barney, 1991: 107). Возвращаясь к примеру с гибридным интеллектом на производстве Siemens, стоит отметить, что уникальная диагностическая методика, возникшая вследствие синергии человека и машины, является скорее случайным, обусловленным конкретной ситуацией паттерном. Инженер, стремясь воспроизвести это достижение на другом производственном участке, сталкивается с проблемой: «Мы не до конца понимаем, что именно мы сделали правильно». Это отсутствие полной ясности, как ни парадоксально, способствует укреплению конкурентной позиции: если сам источник успеха не полностью понятен, то для конкурентов разобраться в нем еще труднее.

Третий механизм основан на концепции фазовых переходов и порога чувствительности, что мы продемонстрировали на Рисунке 1. В промышленных системах эмерджентные характеристики, подобно фазовым переходам в физике, проявляются не плавно, а внезапно, при достижении

определенной степени связанности или сложности (Kauffman, 1993: 234). Пока этот порог не преодолен, система функционирует линейно и суммативно, и любые вложения в её рост не приносят заметного результата. Однако как только порог оказывается пройденным, происходит качественный скачок. Пример: конкурент, подключивший 40 станков из 50, остаётся ниже порога и не получает никакой выгоды,

несмотря на значительные инвестиции. Лидер же, подключивший 41 станок, добивается восьмикратного роста производительности. Этот пороговый эффект формирует барьер для входа, который нельзя преодолеть за счёт плавных улучшений – требуется целенаправленный прорыв.

Для того чтобы наглядно показать, как различные виды ренты ведут себя с течением времени, обратимся к рисунку 3.



Технология даёт быстрый, но короткий успех;
эмерджентность даёт долгий, хотя и требующий терпения.

Рис. 3. Сравнение динамики разных типов ренты во времени
(составлено авторами на основе ресурсной концепции (Barney, 1991: 105; Teece, 2007: 1330), эволюционной теории (Nelson & Winter, 1982: 89) и теории экономического развития (Шумпетер, 1982: 456))

Fig. 3. Comparison of the dynamics of different types of rent over time (compiled by the authors based on the resource-based view (Barney, 1991: 105; Teece, 2007: 1330), evolutionary theory (Nelson & Winter, 1982: 89), and the theory of economic development (Schumpeter, 1982: 456))

Однако сводить всё исключительно к положительным аспектам эмерджентности было бы чрезмерным упрощением. Любое возникающее свойство может носить не только благоприятный характер – например, синергию или выгоду, но и деструктивный. Антиэмерджентность – явление, характеризующееся лавинообразным распространением неисправностей, внезапными нарушениями равновесия системы или появлением деструктивных свойств, отсутствовавших у отдельных частей (Эшби, 2005: 187), демонстрирует свою

природу в ходе изучения техногенных аварий. Анализ таких событий, как авария на АЭС «Фукусима» или инцидент на Ачинском глинозёмном комбинате, позволяет выделить три группы рисков, связанных с антиэмерджентностью: опасность каскадных отказов, где сбой одного элемента запускает цепную реакцию неисправностей; риск нежелательной самоорганизации, когда корректно работающие отдельные компоненты начинают действовать синхронно, приводя к дестабилизации; и угрозу утраты управляемости, обусловленную

генерацией системой такого количества непредвиденных характеристик, что традиционные методы контроля становятся неэффективными (Уильямсон, 1985: 234).

Для выработки оптимальной стратегии реагирования на такого рода внезапные проявления предлагается применять специально разработанную матрицу. Её построение основано на учёте двух ключе-

вых параметров: уровня предсказуемости взаимосвязей между элементами системы (который может быть как высоким, так и низким) и ценности получаемых результатов (также оцениваемой как высокая или низкая) (Клейнер, 2002: 56). Эту схему можно оформить в виде таблицы (табл. 3), после чего применить её к образу предприятия.

Таблица 3

Матрица «Предсказуемость – Ценность» для управления эмерджентностью (составлено авторами по системной парадигме предприятия (Клейнер, 2002: 56) и теории транзакционных издержек (Williamson, 1985: 156))

Table 3

Predictability – Value Matrix for Emergence Management (compiled by the authors based on the system paradigm of the enterprise (Kleiner, 2002: 56) and transaction cost theory (Williamson, 1985: 156))

Уровень предсказуемости	Низкая ценность результата	Высокая ценность результата
Высокая предсказуемость	Квадрант I: зона рутины. Стратегия: стандартизация, Lean, Six Sigma. Пример: склад сырья.	Квадрант II: зона оптимизации. Стратегия: проектирование, масштабирование. Пример: основной конвейер.
Низкая предсказуемость	Квадрант III: зона риска. Стратегия: изоляция, буферы, планы отката. Пример: зона химических реагентов.	Квадрант IV: зона стратегической ставки. Стратегия: эксперименты, песочницы, культура ошибок. Пример: R&D-лаборатория.

Главная ошибка, свойственная примерно 90% промышленных компаний, состоит в том, что для управления изумрудным квадрантом IV (сфера инноваций, где результат трудно спрогнозировать) они применяют методы серого квадранта I (строгие инструкции и штрафы за неудачи). Это напоминает попытку дирижировать джазовым ансамблем, используя партитуру для военного марша. Оптимальный подход – выстроить переходы между квадрантами: из изумрудного в золотой (переноса отработанные эмерджентные решения), из золотого в серый (внедряя их в стандартные процедуры), а красный квадрант оставить изолированным, имея чёткие сценарии отступления (рис. 4).

Представленная концепция вызывает оживленные дискуссии и порой разногласия с тремя устоявшимися в науке парадигмами. Первое столкновение мнений

происходит с кибернетикой, или, как её часто называют, традиционной теорией управления (Эшби, 2005: 92). Кибернетический взгляд на управление сводится к поддержанию стабильности и минимизации возмущений. Однако эмерджентность, особенно в контексте эволюционных процессов, по своей природе подразумевает отступление от изначального порядка. Наша модель предлагает не подавлять, а избирательно культивировать определённые эмерджентные тенденции. Современная синергетическая парадигма управления сложными системами (Князева, Курдюмов, 2023: 12) предлагает отказаться от жесткого директивного контроля в пользу создания условий для самоорганизации, что полностью согласуется с нашей моделью управления эмерджентностью. Это кардинально меняет само понимание управления: вместо роли строгого контро-

лёра, руководитель должен трансформироваться в подобие эколога-садовника, который создает благоприятную среду для

естественного, самопроизвольного развития, отказываясь от стремления дистанционно регулировать каждый аспект.



Рис. 4. Тепловая карта предприятия: четыре квадранта на карте завода (составлено авторами на основе матрицы «Предсказуемость – Ценность» (Клейнер, 2002: 56) и теории транзакционных издержек (Williamson, 1985: 234))

Fig. 4. Heat map of the enterprise: four quadrants on the factory map ((compiled by the authors based on the «Predictability – Value» matrix (Kleiner, 2002: 56) and transaction cost theory (Williamson, 1985: 234))

Второй аспект полемики затрагивает теорию транзакционных издержек, разработанную О. Уильямсоном (Williamson, 1985: 156). Согласно этой теории, организации стремятся к снижению неопределённости через построение жёстких управленческих структур. В то же время, sifat эмерджентности требует ослабления излишней иерархии и инкорпорации элементов контролируемой непредсказуемости. Наш подход заключается в том, чтобы рассматривать инвестиции в исследовательскую деятельность, так называемый «изумрудный квадрант», не как расходы, а как целенаправленные стратегические вложения в будущий потенциал.

Третье направление полемики связано с агентской концепцией М. Дженсена и У. Меклинга, которая фокусируется на согласовании стимулов участников через формальные контракты. Между тем, спонтанное появление новых свойств системы

зачастую происходит в тех межличностных взаимодействиях, контроль и фиксация которых в рамках договоров невозможны. Отсюда вытекает необходимость перехода к реляционным соглашениям, основанным на взаимном доверии и общей культуре экспериментирования (Simon, 1996: 78). Как отмечал П. Друкер (Друкер, 2007: 272), ключевая задача менеджмента в XXI веке – не оптимизация существующих процессов, а создание условий для возникновения новых, ранее не существовавших возможностей, что напрямую коррелирует с идеей управления эмерджентностью.

Исходя из полученных данных, мы предложили четырёхшаговый план действий для производственных компаний, стремящихся осознанно направлять процессы самоорганизации и появления инноваций (табл. 4).

Таблица 4

Дорожная карта управления эмерджентностью (составлено авторами с опорой на концепции стратегического менеджмента (Друкер, 2007: 45), организационного проектирования (Макаров, Клейнер, 2007: 67; Старикова, 2018: 122), эволюционную теорию (Nelson & Winter, 1982: 89) и теорию инноваций (Шумпетер, 1982: 456))

Table 4

Emergence Management Roadmap ((compiled by the authors drawing on strategic management concepts (Drucker, 2007: 45), organisational design (Makarov, Kleiner, 2007: 67; Starikova, 2018: 122), evolutionary theory (Nelson & Winter, 1982: 89), and innovation theory (Schumpeter, 1982: 456))

Этап	Срок	Цвет этапа	Ключевые действия	КПИ успеха
1. Диагностика скрытой эмерджентности	0-3 мес.	Серый → золотой	SNA-анализ, расчёт коэффициента Е для топ-10 процессов	$E > 1,5$ хотя бы для 3 процессов
2. Создание песочниц	3-9 мес.	Изумрудный	Сформировать 2-3 кросс-функциональные команды по 5-7 чел., дать бюджет	Число «осмысленных неудач» в месяц > 5
3. Масштабирование принципов	9-18 мес.	Золотой → зелёный	Извлечь правила из успешных паттернов, «пересадить» на другие участки	Число участков спонтанно возникшим эффектом > 3
4. Институционализация	18-24 мес.	Фиолетовый	Создать «Офис управления эмерджентностью» (отдел 3-5 чел.)	Доля прибыли от новых процессов $> 15\%$ за 2 года

Предложенный план получает четкую инструментальную детализацию при разделении по видам промышленных систем.

В случае непрерывных производств (металлургия, химическая промышленность, нефтепереработка): на стадии диагностики (0–3 месяца) первостепенное значение имеет исследование набора данных с датчиков (колебания, температура, давление в соседних агрегатах). Показатель эмерджентности E рассчитывается не между цехами, а по корреляционным связям в технологической цепи. Например, зависимость между качеством сырья на входе и тепловым режимом доменной печи. На этапе «песочниц» (3–9 месяцев) проведение физических экспериментов на реальном оборудовании исключено из-за высокой стоимости остановок. Вместо этого «песочницей» становится цифровой двойник участка, где эволюционная эмерджентность (самооптимизация режима плавки) тестируется в виртуальной среде.

Ключевым показателем успеха здесь является число выявленных алгоритмом неочевидных корреляций, способствующих снижению удельного потребления сырья не менее чем на 1,5%.

Для дискретных производств (автомобилестроение, машиностроение, приборостроение): на этапе диагностики фокус смещается на SNA-анализ (анализ социальных сетей), с помощью которого выявляются неофициальные потоки коммуникации между инженерами, операторами и наладчиками при перенастройке оборудования. В отличие от непрерывных производств, здесь основной источник интерактивной эмерджентности – человек, а не машина. На этапе «песочниц» выделяется физический опытный участок (одна производственная линия), на котором кросс-функциональная команда (5–7 человек) получает разрешение на временное отступление от регламентов и технологических инструкций, если участники видят

потенциал для улучшения. Ключевым показателем успеха является количество зафиксированных «осмысленных отклонений» (минимум 5 в месяц), которые после проверки распространяются на соседние участки.

Рост эмерджентного потенциала, рассчитанный как композитный индекс,

включающий долю прибыли от новых процессов, число внедрённых эмерджентных решений и организационную готовность, составил 2,7 раза за 24 месяца (рис. 5). Расчёт выполнен авторами на основе данных дорожной карты (см. табл. 4) и VRIO-анализа (см. табл. 2).

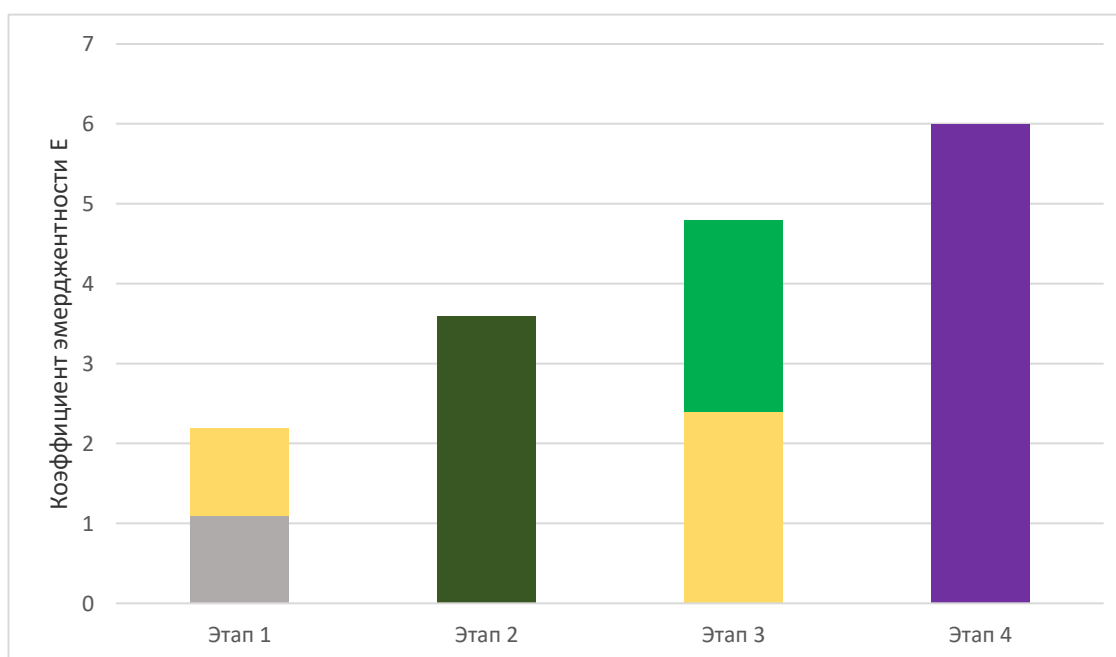


Рис. 5. Динамика эмерджентного потенциала по этапам дорожной карты (составлено авторами с использованием идей стратегического управления (Друкер, 2007: 45), инноватики (Шумпетер, 1982: 456) и микроэкономики знаний (Макаров, Клейнер, 2007: 67))

Fig. 5. Dynamics of Emergent Potential by Roadmap Stage (compiled by the authors using ideas from strategic management (Drucker, 2007: 45), innovation studies (Schumpeter, 1982: 456), and the microeconomics of knowledge (Makarov, Kleiner, 2007: 67))

Подводя итог практической значимости представленных моделей, следует акцентировать внимание на следующем: трансформация стратегического планирования заключается в переходе от простого отслеживания ситуаций к целенаправленному управлению ими. В отличие от классического менеджмента, который направляет усилия на снижение отклонений и ограничение изменчивости, эмерджентный подход призван использовать эти отклонения, преобразуя непредсказуемость внешней среды в фактор внутреннего развития.

Представленные в таблице 4 ключевые показатели эффективности (KPI), а именно $E > 1,5$ и более пяти «конструктивных неудач» ежемесячно, не являются теоретическими конструкциями. Они служат непосредственными индикаторами для корректировки инвестиционной стратегии, поскольку достижение этих показателей сигнализирует о необходимости выделения специализированного бюджета для расширения успешно проявившихся тенденций. Таким образом, устойчивое конкурентное преимущество в современной индустрии обусловлено не единичным технологиче-

ским прорывом, а способностью организации систематически извлекать выгоду из своей внутренней сложности.

Заключение (Conclusions). В заключение представляется целесообразным выделить несколько ключевых моментов. Прежде всего, появление новых характеристик в индустриальных системах, относящихся к эрам индустрии 4.0 и 5.0, следует рассматривать не как аномалию или помеху, а как закономерное явление. По своей природе такие системы являются адаптивными и комплексными, и их поведение нельзя исчерпывающе объяснить путем простого суммирования свойств их компонентов. Разграничение понятий эмерджентности и синергичности позволяет более точно идентифицировать природу возникающих эффектов в промышленных системах. Попытки управлять ими как простыми, линейными механизмами неизбежно приводят к ущемлению инновационного потенциала и возрастанию риска каскадных отказов. Во-вторых, эту новую, проявляющуюся способность следует воспринимать как ценный стратегический ресурс. Переосмысление управления организационной эффективностью с позиций теории сложности предлагает отказаться от линейных KPI в пользу показателей, отражающих адаптивность и способность системы к самоорганизации. Представленная концепция «Эмерджентной ренты» в совокупности с анализом по VRIO-критериям (см. табл. 2) убедительно демонстрирует, что эмерджентные свойства способны формировать устойчивое конкурентное преимущество. Это преимущество сложно тиражировать из-за наличия неявных взаимосвязей, неопределенности причинно-следственных связей и выраженных пороговых эффектов (см. рис. 2).

Овладение эмерджентностью трансформируется в первостепенную компетенцию для современных промышленных предприятий. Долгосрочное лидерство достигается не посредством подавления

спонтанных проявлений или устранения вариативности, а путем развития метакогнитивных навыков. Это включает в себя способность идентифицировать полезные эмерджентные явления, отличать их от деструктивных, а также создавать условия для их возникновения. Специфика возникновения эмерджентных свойств в промышленных кластерах показывает, что эффект синергии усиливается при росте плотности межфирменных взаимодействий, что перекликается с нашими выводами о пороговых эффектах. Разработанная дорожная карта (табл. 4) и тепловая карта предприятия (рис. 4) предоставляют руководителям инструментарий для инициирования данного процесса.

В заключение следует подчеркнуть, что подходы к управлению должны быть контекстно-зависимыми. Применение матрицы, показанной в таблице 3, помогает избежать распространенной ошибки, когда методы, эффективные для строго регламентированных и однородных задач, механически переносятся на области с высокой степенью неопределенности, где требуется поиск новаторских решений. Для промышленных компаний оправданным шагом будет введение трех базовых метрик: частоты непредвиденных отклонений от запланированного процесса на тысячу операций, уровня коммуникации между различными отделами, а также времени, затрачиваемого сотрудниками на разрешение нестандартных ситуаций. Рост этих показателей свидетельствует об увеличении спонтанного потенциала системы, который не следует жестко ограничивать, а необходимо грамотно использовать и направлять.

Дальнейшие научные исследования будут ориентированы на создание цифровых двойников нового поколения, способных не только моделировать процессы, но и прогнозировать моменты критических трансформаций. Кроме того, критически

важно разработать инструменты для интеллектуального регулирования спонтанно возникающих свойств систем в режиме реального времени. Научные коллективы, которым удастся представить подобные решения, получают возможность раскрыть механизм преобразования хаотичных производственных связей в устойчивое лидерство.

Информация о конфликте интересов: авторы не имеют конфликта интересов для декларации.

Conflicts of Interest: the authors have no conflict of interests to declare

Список литературы

- Аблязов А. Р. Применение теории эмерджентности в различных отраслях современной науки // Бизнес и общество. 2024. № 4 (44). С. 59-69.
- Барни Дж. Б. Ресурсы компании и устойчивое конкурентное преимущество // Journal of Management. 1991. Т. 17. № 1. С. 99-120.
- Друкер П. Ф. Задачи менеджмента в XXI веке. М.: Вильямс, 2007. 272 с.
- Клейнер Г. Б. Системная парадигма и теория предприятия // Вопросы экономики. 2002. № 10. С. 47-69.
- Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2005. – 414 с.
- Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Синергетическая парадигма управления сложными системами // Управление большими системами. 2023. № 87. С. 12-34.
- Макаров В. Л., Клейнер Г. Б. Микроэкономика знаний. М.: Экономика, 2007. – 204 с.
- Макаров О. В. Специфика возникновения эмерджентности в промышленных кластерах // Инновационная экономика и общество. 2024. № 2 (44). С. 15-23.
- Мещерякова Т. С. Разработка методологических положений по оценке энергоэффективности промышленных предприятий в условиях реализации государственной энергетической политики // Экономическая безопасность. 2026. Т. 9. № 1. С. 183-210.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: УРСС, 2014. – 310 с.
- Роголенко Т. М. Активизация эмерджентных свойств промышленных предприятий // Экономический вестник. 2020. № 1. С. 48-55.
- Самойлова Т. Д. Эмерджентность и синергичность в условиях эффективности функционирования торговой организации // ЭФО: Экономика. Финансы. Общество. 2022. № 1. С. 73-85.
- Старикова М. С. Направления оценки эффектов интеграции в промышленной среде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 120-126.
- Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 2016. – 404 с.
- Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982. 456 с.
- Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М.: URSS, 2005. – 432 с.
- Gell-Mann, M. (1994), *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*, New York, Freeman, 392 p.
- Haken, H. (2006), *Information and Self-Organization*, Berlin, Springer, 258 p.
- Holland, J. H. (1998), *Emergence: From Chaos to Order*, Oxford, Oxford University Press, 258 p.
- Kauffman, S. A. (1993), *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford, Oxford University Press, 734 p.
- Miller, J. H., and Page, S. E. (2007), *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton, Princeton University Press, 280 p.
- Nelson, R. R., and Winter, S. G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Harvard University Press, 454 p.
- Pavlov, A. and Micheli, P. (2023), “Re-thinking organizational performance management: a complexity theory perspective”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 43, 6, pp. 899-915.
- Simon, H. A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MIT Press, 248 p.
- Teece, D. J. (2007), “Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance”, *Strategic*

Management Journal, Vol. 28, 13, pp. 1319–1350.

Williamson, O. E. (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, New York, Free Press, 468 p.

Yi, S., Zaoli, Y., Xuemei, X., and Harish, G. (2022), “Complex System Models and Their Application in Industrial Cluster and Innovation Systems”, *Complexity*, Vol. 2022, Article ID 3882520.

References

Abliazov, A. R. (2024), “Application of the Theory of Emergence in Various Branches of Modern Science”, *Business and Society*, 4 (44), pp. 59–69. (In Russ.)

Ashby, W. R. (2005), *An Introduction to Cybernetics*, Moscow, URSS, 432 p. (In Russ.)

Barney, J. B. (1991), “The resource-based view of the firm”, *Journal of Management*, Vol. 17, 1, pp. 99–120. (In Russ.)

Drucker, P. F. (2007), *The Tasks of Management in the 21st Century*, Moscow, Williams, 272 p. (In Russ.)

Gell-Mann, M. (1994), *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*, New York, Freeman, 392 p.

Haken, H. (2006), *Information and Self-Organization*, Berlin, Springer, 258 p.

Haken, H. (2016), *Synergetics*, Moscow, Mir, 404 p. (In Russ.)

Holland, J. H. (1998), *Emergence: From Chaos to Order*, Oxford, Oxford University Press, 258 p.

Kauffman, S. A. (1993), *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford, Oxford University Press, 734 p.

Kleiner, G. B. (2002), “The System Paradigm and the Theory of the Enterprise”, *Issues of Economics*, 10, pp. 47–69. (In Russ.)

Knyazeva, E. N. and Kurdyumov, S. P. (2005), *Foundations of Synergetics. Blow-Up Regimes, Self-Organization, Tempo Worlds*, St. Petersburg, Aleiteiya, 414 p. (In Russ.)

Knyazeva, E. N. and Kurdyumov, S. P. (2023), “The Synergetic Paradigm for Managing Complex Systems”, *Large Systems Management*, No. 87, pp. 12–34. (In Russ.)

Makarov, O. V. (2024), “The Specifics of Emergence in Industrial Clusters”, *Innovative Economy and Society*, 2 (44), pp. 15–23. (In Russ.)

Makarov, V. L. and Kleiner, G. B. (2007), *Microeconomics of Knowledge*, Moscow, Ekonomika, 204 p. (In Russ.)

Meshcheryakova, T. S. (2026), “Development of Methodological Provisions for Assessing the Energy Efficiency of Industrial Enterprises under the Implementation of the State Energy Policy”, *Economic Security*, Vol. 9, 1, pp. 183–210. (In Russ.)

Miller, J. H., and Page, S. E. (2007), *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton, Princeton University Press, 280 p.

Nelson, R. R., and Winter, S. G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Harvard University Press, 454 p.

Pavlov, A. and Micheli, P. (2023), “Rethinking organizational performance management: a complexity theory perspective”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 43, 6, pp. 899–915.

Prigogine, I. and Stengers, I. (2014), *Order Out of Chaos: A New Dialogue between Man and Nature*, Moscow, URSS, 310 p. (In Russ.)

Rogolenko, T. M. (2020), “Activating the Emergent Properties of Industrial Enterprises”, *Economic Bulletin*, 1, pp. 48–55. (In Russ.)

Samoilova, T. D. (2022), “Emergence and Synergy in the Context of the Operational Efficiency of a Trading Organization”, *EFO, Economics. Finance. Society*, 1, pp. 73–85. (In Russ.)

Schumpeter, J. A. (1982), *The Theory of Economic Development*, Moscow, Progress, 456 p. (In Russ.)

Simon, H. A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MIT Press, 248 p.

Starikova, M. S. (2018), “Directions for Assessing the Effects of Integration in the Industrial Environment”, *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 5, pp. 120–126. (In Russ.)

Teece, D. J. (2007), “Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance”, *Strategic Management Journal*, Vol. 28, 13, pp. 1319–1350.

Williamson, O. E. (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, New York, Free Press, 468 p.

Yi, S., Zaoli, Y., Xuemei, X., and Harish, G. (2022), “Complex System Models and Their Application in Industrial Cluster and Innovation Systems”, *Complexity*, Vol. 2022, Article ID 3882520.

Данные об авторах

Дубровина Татьяна Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры мировой экономики и финансового менеджмента института экономики и менеджмента

Трошин Александр Сергеевич, доктор экономических наук, профессор кафедры мировой экономики и финансового менеджмента института экономики и менеджмента

Владыка Марина Валентиновна, доктор экономических наук, профессор кафедры прикладной экономики и экономической безопасности института экономики и управления

Information about authors

Tatyana A. Dubrovina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of World Economy and Financial Management, Institute of Economics and Management

Alexander S. Troshin, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of World Economy and Financial Management, Institute of Economics and Management

Marina V. Vladyka, Doctor of Economics, Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management