

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК 334.784
JEL: C43, O32, M15
EDN: OBDLZH

Интегральный индекс эффективности цифровизации в системе анализа развития бизнес-экосистемы

Е.В. Попов, В.Л. Симонова, А.С. Зырянов

Уральский институт управления филиал РАНХиГС, <https://ror.org/04xnm9a92>, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ui@ranepa.ru

Аннотация. В условиях ускоряющейся цифровой трансформации обрабатывающего промышленного сектора российской экономики сохраняется методологический разрыв в понимании влияния цифровизации на эффективность деятельности предприятий и бизнес-экосистем. Цель исследования – разработка методического аппарата интегральной оценки эффективности цифровизации (распространения и применения цифровых технологий) по ядру промышленной экосистемы с учетом совокупных экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов. Методологическую основу формируют положения системного и процессного подходов, концепции цифровой зрелости предприятий и управляемых бизнес-экосистем, а также принципы бережливого производства и цифрового менеджмента. Методическая база включает разработанный авторами количественный инструмент – интегральный индекс эффективности цифровизации (IIE), построенный с применением метода анализа иерархий, многокритериальной оценки (MCDA), нормализации и взвешенной аддитивной агрегации. Эмпирическая апробация инструмента выполнена на примере машиностроительного предприятия B2B-сегмента. Результаты показали устойчивый рост интегрального индекса, что свидетельствует о системном эффекте цифровизации и переходе компании от локальных улучшений к зрелой фазе цифровой экосистемы. В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие интегрального подхода в сторону повышения точности и прикладной применимости, что позволит трансформировать индекс из аналитического показателя в устойчивый инструмент управленческого принятия решений в условиях изменяющейся внешней среды. Обозначено ключевое ограничение методики, а именно то, что рост интегрального индекса цифровизации следует интерпретировать как результат совокупной трансформации деятельности предприятия, в рамках которой цифровизация является значимым, но не единственным фактором изменения наблюдаемых эффектов.

Ключевые слова: система управления цифровизацией, интегральный индекс цифровизации, цифровая трансформация, бизнес-экосистема, эффекты цифровизации, многокритериальный анализ

Информация о финансировании: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Свердловской области № 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>

Для цитирования: Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2026). Интегральный индекс эффективности цифровизации в системе анализа развития бизнес-экосистемы. *Экономика науки*, 12(1), 86–105. EDN: OBDLZH

ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: C43, O32, M15
EDN: OBDLZH

Integral index of digitalization efficiency in the system of analyzing business ecosystem development

E.V. Popov, V.L. Simonova, A.S. Zyrianov

Ural Institute of Management RANEPa, <https://ror.org/04xnm9a92>, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: ui@ranepa.ru

Abstract. In the context of the accelerating digital transformation of the manufacturing sector of the Russian economy, a methodological gap persists in understanding the impact of digitalization on the performance efficiency of enterprises and business ecosystems. The purpose of this study is to develop a methodological framework for the integrated assessment of digitalization efficiency (the diffusion and application of digital technologies) within the core of an industrial ecosystem by accounting for the combined economic, operational, technical, social, and market effects. The methodological foundation of the research is based on the principles of the systems and process approaches, the concepts of enterprise digital maturity and managed business ecosystems, as well as the principles of lean production and digital management. The methodological framework includes a quantitative tool developed by the authors – an integral digitalization efficiency index (IIE), constructed using the Analytic Hierarchy Process (AHP), multi-criteria decision analysis (MCDA), normalization procedures, and weighted additive aggregation. The empirical basis of the study is represented by a case study of a B2B engineering (machine-building) enterprise. The results demonstrate a stable growth of the integral index, indicating a systemic effect of digitalization and the company's transition from localized improvements to a mature phase of a digital ecosystem. In future research, the integrated approach may be further developed toward greater accuracy and practical applicability, enabling the transformation of the index from an analytical indicator into a sustainable managerial decision-making tool under conditions of a changing external environment. At the same time, a key limitation of the methodology is identified: the growth of the integral digitalization index should be interpreted as the result of a comprehensive transformation of enterprise activities, within which digitalization represents a significant, but not the sole, factor influencing the observed effects.

Keywords: digitalization management system, integral digitalization index, digital transformation, business ecosystem, digitalization effects, multicriteria analysis

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Government of the Sverdlovsk Region № 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>

For citation: Popov, E.V., Simonova, V.L., & Zyrianov, A.S. (2026). Integral index of digitalization efficiency in the system of analyzing business ecosystem development. *Economics of science*, 12(1), 86–105. EDN: OBDLZH

ВВЕДЕНИЕ

В последние десять лет цифровизация привлекает возрастающее внимание академического и профессионального сообществ в контексте анализа ее воздействия на деятельность предприятий. Особый интерес представляет влияние цифровизации на результаты функционирования ядра и бизнес-экосистемы в целом, поскольку современным организациям необходимо измерять изменения эффективности по ключевым показателям для адаптации и тонкой настройки бизнес-модели (Verhoef et al., 2021, p. 895). Вместе с тем в научной и профессиональной литературе по-прежнему отсутствует консенсус относительно состава индикаторов, трактовки эффектов и эффективности цифровизации.

Система управления цифровизирующегося B2B-предприятия¹ приобретает характер социотехнической адаптивной системы, в которой наряду с ресурсами управляются данные, знания и цифровые сервисы, обеспечивая устойчивость результатов в условиях высокой неопределенности внешней среды.

¹ B2B (Business-to-Business) – формат взаимодействия между хозяйствующими субъектами, при котором сделки совершаются между организациями.

В рамках настоящей статьи понятие «цифровизации» определяется как процесс, который стимулирует предприятия к адаптации и совершенствованию цифровых возможностей во всех аспектах, чтобы выжить и преуспеть. Он позволяет компаниям преодолевать неопределенности и эффективно реагировать на требования бизнеса (Deeru & Ravi, 2021). При этом цифровизация заключается не просто во внедрении технологий, а в фундаментальных изменениях, затрагивающих «стратегию организации, бизнес-процессы, организационные знания и всю социотехническую систему» (Park & Saraf, 2016). Поскольку внутренние и внешние элементы организации, а также их взаимоотношения преобразуются посредством цифровых технологий, это может прямо или косвенно влиять на результаты деятельности компании (Meng & Wang, 2020).

Понятие «ядро бизнес-экосистемы» следует понимать как фокальный субъект, выполняющий системообразующую функцию за счет концентрации ключевых ресурсов, цифровых платформ и управленческих компетенций, обеспечивающий формирование, координацию и устойчивое воспроизводство сетевых взаимодействий между участниками экосистемы

с целью совместного создания и распределения ценности. Одновременно бизнес-экосистема трактуется как совокупность устойчивых сетевых взаимодействий ядра с контрагентами и партнерами (поставщиками, потребителями, сервисными и технологическими провайдерами, институтами поддержки и регуляторами), совместно участвующими в создании и распределении ценности.

Эмпирический анализ ограничен ядром экосистемы, поскольку интегральная оценка строится на показателях, доступных для регулярного измерения внутри предприятия; влияние периферии учитывается на уровне интерпретации результатов. Хотя влияние цифровизации на показатели результативности вызывает все больший интерес как у исследователей, так и у практиков, до сих пор не ясно, что именно и как следует измерять, чтобы определить, как цифровизация влияет на результативность (Rungi, 2019). В этой связи в рамках исследования были сформулированы следующие исследовательские вопросы:

1. Каким образом цифровизация и цифровая трансформация отражаются на результатах деятельности промышленного предприятия, и какие группы эффектов целесообразно использовать для их комплексной оценки?
2. Как может быть построен интегральный инструмент оценки эффективности цифровизации, позволяющий связать динамику цифровых преобразований с изменениями результатов деятельности предприятия в условиях отсутствия единого подхода к интерпретации таких результатов?
3. Каким образом анализ динамики интегрального показателя и его компонент позволяет выявлять узкие места, зоны недоиспользованного потенциала и служит основой для корректировки стратегии цифровизации предприятия?

Цифровизация или цифровая трансформация требуют от руководителей формулировать цифровое видение, объясняющее необходимость, план и ожидаемые результаты цифровизации. Соответственно, сложность, которую могут испытывать управленцы, связана с неопределенностью, рисками и дисбалансами

влияния цифровизации на архитектурные элементы организации и их результативность вследствие социотехнической природы цифровизации (Абрамов и др., 2024; Васильева, 2023). Поскольку стратегии цифровизации и другие организационные элементы взаимозависимы, сама цифровизация не может полностью объяснить сложные механизмы влияния на эффективность организации.

Существуют исследования (например, Hanelt et al., 2017; Sener & Yuksel, 2017; Nandkumar et al., 2018; Cubric, 2020; Alhassan & Adam, 2021; Каленов, 2023), рассматривающие цифровую эффективность с различных позиций. Однако консолидированного системного взгляда на эффективность цифровизации с использованием соответствующей теоретической рамки не существует. Например, в литературе рассматриваются вопросы воздействия цифровых решений на трансформацию устойчивого развития компании (Hanelt et al., 2017), рыночную стоимость (Nandkumar et al., 2018), показатели процессов (Sener & Yuksel, 2017), финансовую результативность (Westerman et al., 2014; Sia et al., 2016), производительность (Brynjolfsson et al., 2011), а также инвестиции в цифровизацию (Hess et al., 2016).

Целью настоящего исследования является разработка и апробация методического аппарата интегральной оценки эффективности цифровизации промышленного предприятия B2B-сегмента, позволяющего установить и интерпретировать связь между развитием цифровых технологий и изменениями результатов деятельности предприятия через совокупность экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

1. Обосновать теоретико-методологические предпосылки оценки результатов цифровизации предприятия и определить состав ключевых эффектов, отражающих изменения результатов его деятельности.
2. Разработать интегральный индекс эффективности цифровизации на основе многокритериального анализа и метода анализа иерархий, и апробировать его

на примере промышленного предприятия В2В-сегмента.

3. Проанализировать динамику интегрального показателя и его компонент с целью выявления управленческих выводов и практических рекомендаций по развитию системы цифровизации предприятия.

Также важно отметить, что в рамках настоящего исследования под эффектами цифровизации понимаются наблюдаемые изменения отдельных показателей результатов деятельности предприятия (экономических, операционных, технических, социальных и рыночных), ассоциированные с внедрением и использованием цифровых технологий. Эффективность цифровизации трактуется в прикладном смысле как интегральная оценка совокупности указанных эффектов, агрегированная в сопоставимый во времени показатель и не сводимая к классическому соотношению «результат–затраты».

Методология исследования

Объектом настоящего исследования является система управления процессом развития цифровизации ядра промышленной бизнес-экосистемы на примере машиностроительного предприятия В2В-сегмента. Предприятие рассматривается как фокальный субъект, формирующий и координирующий сетевые взаимодействия с ключевыми участниками внешнего контура (клиентами, поставщиками, технологическими провайдерами и другими). При этом интегральная оценка эффективности цифровизации строится на основе показателей, измеряемых на уровне ядра, что обусловлено доступностью сопоставимых данных за 2022–2024 гг. и задачей формирования прикладного инструмента управления цифровизацией предприятия. Цифровая трансформация осуществляется на основе Стратегии цифровизации, разработанной в соответствии с авторским методическим подходом, подробно представленным в работе «Формирование стратегии цифровизации бизнес-экосистемы промышленного предприятия» (Попов и др., 2025а).

Для оценки результативности и верификации применяемой методики цифровизации через призму экономических, операционных,

технических, социальных и рыночных эффектов использован авторский методический подход к формированию интегрального индекса эффективности цифровизации (ИЕ), концептуальные основы которого были заложены в работе (Попов и др., 2025b). Количественная реализация и апробация методики представлены в настоящем исследовании. Его общая формула имеет вид, представленный формулой (1). Все зависимости и расчетные формулы ((1), (4), (8), (10), (13), (15), (18)), представленные далее, разработаны авторами в рамках настоящего исследования. При их построении использованы общие принципы многокритериального анализа, нормализации показателей и аналитического иерархического процесса (АИР), широко применяемые в экономических исследованиях, однако конкретная структура индекса, состав компонент и набор показателей имеют авторский характер.

$$ИЕ = \sum_k w_k \times X_k, \text{ где } X_k \in [0, 1], \quad (1)$$

где X_k – нормализованное значение k -й компоненты эффекта цифровизации, $X_k \in (0; 1)$;

$k = 1, 2, \dots, K$, где K – количество компонент эффектов цифровизации;

w – вес k -й компоненты, отражающий ее относительную значимость, определенные по методу анализа иерархий Саати (АИР), при этом $\sum_{k=1}^K w_k = 1$.

В рамках настоящего исследования в качестве компонент эффектов цифровизации (X_k) рассматриваются пять укрупненных групп: экономический (Е), операционный (О), технический (Т), социальный (S) и рыночный (СР) эффекты. Значения компонент формируются на основе нормализации соответствующих частных показателей, характеризующих изменение результатов деятельности предприятия под воздействием цифровизации.

Веса компонент (w_k) определяются с применением метода анализа иерархий (АИР) на основе экспертного опроса представителей топ-и среднего уровня менеджмента предприятия, непосредственно вовлеченных в реализацию и оценку цифровых инициатив (генерального управления, финансов, производства). Метод основан на процедуре попарного сравнения критериев с последующим вычислением их

весов на основе собственных значений матрицы предпочтений. Применение АНР позволяет формализовать экспертные суждения о важности различных эффектов цифровизации и получить количественные весовые коэффициенты, используемые при агрегировании показателей в интегральный индекс. Следует отметить, что веса компонент несут экспертный характер и могут изменяться во времени в зависимости от стадии цифровой зрелости предприятия, состава экспертов и стратегических приоритетов, что является ограничением данного подхода.

Интегральный индекс эффективности цифровизации принимает значения в диапазоне $(0;1)$, где более высокие значения соответствуют более выраженному совокупному эффекту цифровизации по рассматриваемым компонентам. При этом индекс не интерпретируется как абсолютная мера эффективности в экономическом смысле, а используется как сопоставимый во времени агрегированный показатель для анализа динамики и структуры эффектов цифровизации.

Применение данного подхода проиллюстрировано на практическом кейсе промышленного машиностроительного предприятия В2В-сегмента, выполняющего роль ядра бизнес-экосистемы, для которого были доступны сопоставимые данные о результатах деятельности и реализации цифровых инициатив за период 2022–2024 гг. Поскольку исследуемая компания относится к экосистеме начального уровня цифровой зрелости, результаты анализа рассматриваются как базовый ориентир для дальнейших исследований, которые целесообразно проводить на примере предприятий, находящихся на более продвинутых стадиях цифровой трансформации.

Для формирования эмпирической базы исследования использовались качественные и количественные методы сбора данных. Качественные данные, включая оценки весов компонент, получены на основе глубинных интервью и анкетирования специалистов, участвовавших в разработке и реализации стратегии цифровизации, а также представителей топ-менеджмента и линейного руководства.

Количественные данные были собраны из открытых источников и специализированной

информационной системы Контур.Фокус, а также предоставлены непосредственно из внутренних учетных баз предприятия. Для обработки данных использованы нормализация и шкалирование показателей, методы многокритериальной оценки (MCDA) и АНР, взвешенная аддитивная агрегация, динамический и покомпонентный анализ, а также декомпозиция прироста (waterfall).

Информационную основу исследования составили зарубежные научные статьи и обзоры, а также публикации, проиндексированные в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Ниже подробно описана методика расчета интегрального индекса цифровизации, разработанная авторами и примененная в рамках данного исследования.

В связи с тем, что расчеты проводились по периодам цифровизации, а именно за 2022, 2023 и 2024 гг., то рассчитывать нормализованные значения показателей компонентов эффекта цифровизации с применением метода min-max нормализации (Zavadskas et al., 2014) является методологически неоптимальным, так как крайние годы почти гарантированно будут граничные значения 0 и 1, при этом динамика 2023 г. будет искусственно завышаться, а шкала изменяться при добавлении нового периода. В связи с этим в методике используем центрирование на базе с порогом значимых изменений (Steele et al., 2009) см. формулы (2) и (3), где считаем изменение к 2022 г. и линейно откалибровываем так, чтобы отклонения на уровне $\pm \theta\%$ давали $(0, 1)$ при базовом значении эффектов цифровизации в 2022 г. на уровне 0,5:

- для benefit-метрик (выше = лучше):

$$d = \frac{X}{X_{2022}}, X_{norm} = clip\left(0,5 + \frac{d}{2\theta}, 0,1\right) \quad (2)$$

- для cost-метрик (ниже = лучше):

$$d = 1 - \frac{X}{X_{2022}}, X_{norm} = clip\left(0,5 + \frac{d}{2\theta}, 0,1\right) \quad (3)$$

где θ – значимая смена, которую принимаем за 0,3.

С одной стороны, выбор θ субъективен, но с другой – это управляемый параметр, который можно задавать в зависимости от критичности эффекта.

Таблица 1. Benefit-Cost классификация метрик компонентов цифровизации
Table 1. Benefit-Cost classification of digitalization component metrics

Компонент эффекта цифровизации	Название метрики	Обозначение	Тип
Экономический (E)	Производительность труда	LP	benefit
	Удельные переменные затраты	Kvc	cost
	Цикл оборота денежных средств	CCC	cost
Операционный (O)	Время производственного цикла	LT	cost
	Относительное количество ошибок в готовой продукции	D _R	cost
Технический (T)	Коэффициент технической готовности оборудования	AvR	benefit
	Уровень автоматизации технологических процессов	AuR	benefit
Социальный (S)	Уровень цифровой обученности	DL	benefit
	Текучесть персонала	ST	cost
Рыночный (CP)	Доля рынка	MS	benefit
	Уровень повторных продаж	RP	benefit

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

Классификация метрик, используемых для расчета компонентов эффектов цифровизации, представлена в *таблице 1*.

В настоящей методике все компоненты интегрального индекса эффективности цифровизации рассчитываются как нормализованные агрегированные индикаторы, отражающие изменения отдельных аспектов деятельности предприятия под воздействием цифровизации. Показатели, входящие в состав каждой компоненты, могут иметь различную экономическую природу (уровни, доли, временные интервалы и тому подобное), однако после нормализации приводятся к безразмерной шкале (0;1), что обеспечивает их сопоставимость.

Агрегирование показателей в рамках каждой компоненты осуществляется в форме взвешенной суммы и не предполагает интерпретации полученного значения как аддитивной экономической величины. Значения компонент отражают направление и интенсивность изменений соответствующих эффектов цифровизации и используются для сравнительного анализа динамики, структуры и вклада отдельных аспектов в интегральную оценку эффективности цифровизации.

Экономический компонент эффекта цифровизации (E)

Формула расчета экономического эффекта (4):

$$E = w_{LP} \times LP_{norm} + w_{Kvc} \times Kvc_{norm} + w_{CCC} \times CCC_{norm} \quad (4)$$

где LP_{norm} (Labor Productivity) – нормализованное значение производительности труда на одного сотрудника; метрика отражает экономию за счет автоматизации, уменьшения ручного труда и повышения эффективности персонала.

w_{LP} , w_{Kvc} , w_{CCC} – веса показателей, отражающие их относительную важность.

Расчет производительности труда по периоду осуществляется по формуле (5):

$$LP = \frac{Q}{T}, \quad (5)$$

где Q – объем произведенной продукции (в денежных показателях),

T – затраты труда (среднесписочная численность работников).

Kvc_{norm} (unit variable cost) – нормализованное значение удельных переменных затрат (в стоимостном выражении), обеспечиваемое за счет снижения брака, оптимизации закупок и автоматизированного планирования. Расчет удельных переменных затрат в стоимостном выражении по периоду осуществляется по формуле (6):

$$Kvc = \frac{VC}{R} \quad (6)$$

где VC – переменные затраты (в денежном выражении),

R – выпуск или выручка (в денежном выражении).

CCC_{norm} (Cash Conversion Cycle) – нормализованное значение времени, за которое

денежные средства, вложенные в производственно-сбытовой цикл, возвращаются обратно в виде поступлений от покупателей. Цифровизация напрямую влияет на CCC через:

- ERP / MES / SCM, которые сокращают запасы и ускоряют закупки,
- CRM / электронный документооборот / онлайн-оплаты, которые ускоряют оплату клиентами,
- E-procurement / интеграция с поставщиками, которые позволяют рационально управлять платежами.

В результате цифровизация сокращает CCC, что можно прямо трактовать как экономический эффект (ускорение оборота капитала).

Формула расчета CCC (7):

$$CCC = D_z + D_{deb} - D_{cred} \quad (7)$$

где D_z – период оборачиваемости запасов,

D_{deb} – период оборачиваемости дебиторской задолженности,

D_{cred} – период оборачиваемости кредиторской задолженности.

Операционный компонент эффекта цифровизации (O)

Формула расчета операционного эффекта (8):

$$O = w_{LT} \times LT_{norm} + w_D \times D_{Rnorm} \quad (8)$$

где LT_{norm} (Lead Time) – нормализованное значение производственного цикла / среднего (медианы) за период выполнения заказа, то есть общее время от момента поступления заказа до его отгрузки; один из самых чувствительных операционных показателей к цифровизации, в том числе при внедрении MES, ERP, APS, сквозного документооборота.

D_{Rnorm} (Defects Relative) – нормализованное значение относительного количества ошибок, сбоев, простоев, рассчитываемое по формуле (9):

$$D_R = \frac{D}{N} \quad (9)$$

где D – количество изделий со скрытым дефектом, обнаруженных у покупателя,

N – общее количество произведенных изделий.

Технический компонент эффекта цифровизации (T)

Формула расчета технического эффекта (10):

$$T = w_{AvR} \times AvR_{norm} + w_{AuR} \times AuR_{norm} \quad (10)$$

где AvR_{norm} – нормализованное значение коэффициента технической готовности оборудования (КГТ / Availability Rate), характеризующего долю времени, в течение которого оборудование доступно для выполнения производственных задач без простоев. В рамках настоящего исследования данный показатель используется для отражения изменений технической готовности оборудования, которые могут быть ассоциированы с внедрением цифровых решений в области мониторинга состояния и технического обслуживания.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле (11):

$$AvR = \frac{T_{работы}}{T_{работы} + T_{простоя}} \quad (11)$$

где $T_{работы}$ – время, когда оборудование находится в исправном состоянии и может выполнять свои функции,

$T_{простоя}$ – суммарное время вынужденных простоев (ремонт, техническое обслуживание).

AuR_{norm} (Automation Rate) – нормализованное значение уровня автоматизации технологических процессов, характеризующее долю операций и участков, выполняемых в автоматизированном режиме. Данный показатель отражает изменения степени автоматизации производственных процессов, которые могут быть ассоциированы с внедрением цифровых решений и развитием информационно-технологической архитектуры предприятия. В практическом плане рост уровня автоматизации может быть связан с внедрением и интеграцией систем MES, SCADA, ERP, PLM и других цифровых решений, обеспечивающих автоматизированное управление и координацию технологических процессов.

Показатель рассчитывается по формуле (12):

$$AuR = \frac{N_{auto}}{N_{total}} \quad (12)$$

где N_{auto} – количество технологических операций (или ИТ-процессов), выполняемых автоматически (роботами или с применением средств АСУ, ERP и так далее),

N_{total} – общее количество операций в производственной или бизнес-системе.

Социальный компонент эффекта цифровизации (*S*)

Формула расчета социального эффекта (13):

$$S = w_{DL} \times DL_{norm} + w_{ST} \times ST_{norm} \quad (13)$$

где DL_{norm} (Digital Learning) – нормализованное значение уровня цифровой обученности, демонстрирует влияние платформы на повышение цифровой грамотности участников. Это доля пользователей, которые прошли обучение или сертификацию по работе с платформой или цифровыми технологиями благодаря ее внедрению. Данный показатель подчеркивает вклад платформы в развитие компетенций и важен для социальных целей компании, связанных с повышением уровня образования в части цифровизации. Если платформа требует обучения пользователей для эффективного использования, этот показатель становится важным для оценки ее социальной значимости.

ST_{norm} (Staff Turnover) – нормализованное значение текучести персонала, отражающее эффект цифровизации на качество условий труда: уменьшение рутины, повышение прозрачности, удобство ИТ-среды, а также влияние на мотивацию и вовлеченность сотрудников.

Формула расчета уровня цифровой обученности (14):

$$DL = \frac{N_{ed}}{N_{reg}} \quad (14)$$

где N_{ed} – количество обученных участников, N_{reg} – общее (зарегистрированное) количество участников, а за основу можно брать среднесписочное количество человек на предприятий.

Рыночный компонент эффекта цифровизации (*CP*)

Формула расчета рыночного эффекта (15):

$$CP = w_{MS} \times MS_{norm} + w_{RP} \times RP_{norm} \quad (15)$$

где MS_{norm} (Market Share) – нормализованное значение доли рынка ядра бизнес-экосистемы.

Формула расчета (16):

$$MS = \frac{S_{comp}}{S_{market}} \quad (16)$$

где S_{comp} – объем продаж компании (Sales of the company),

S_{market} – общий объем продаж на рынке (Total market sales).

RP (Repeat Purchase) – нормализованное значение повторных продаж за период. Показатель отражает степень лояльности, эффективность маркетинга и работы с постоянными клиентами, при этом цифровые технологии значительно расширяют возможности удержания клиентов, персонализации и совершенствования сервисов. Рассчитывается по формуле (17):

$$RP = \frac{N_{repeat}}{N_{unique}} \quad (17)$$

где N_{repeat} – количество уникальных клиентов, совершивших более одной покупки за выбранный период (Number of repeat customers),

N_{unique} – общее количество уникальных клиентов за тот же период (Total unique number of customers).

$$IIE = w_e \times E + w_o \times O + w_t \times T + w_s \times S + w_{sp} \times CP \quad (18)$$

Формула (18) представляет собой конкретизацию общей модели интегрального индекса эффективности цифровизации (1) для выбранного набора компонент эффектов и соответствующих весов:

Результаты исследования

Быстрая цифровизация отраслей привела к распространению сложных промышленных цифровых платформ и попыткам формирования различных цифровых бизнес-экосистем, однако немногие лидеры промышленных платформ успешно создали устойчивые бизнес-модели вокруг своих предложений (Björkdahl, 2020). Причиной этому может служить логика формирования ценностного предложения на начальном этапе формирования экосистемы. В отличие от рынка B2C², на B2B рынке формирование цифровой бизнес-экосистемы логичнее и эффективнее начинать с цифровизации внутреннего производственного процесса и, что еще более важно, с цифровизации выпускаемых продуктов.

Такого уровня цифровизация, как правило, является внутренней для компании, поэтому имеет на начальном этапе ограниченные возможности. Эти решения чаще всего структурированы как внутренне связанные системы, которые отслеживают деятельность машин

² B2C (Business-to-Consumer) – модель экономических отношений, при которой компания реализует товары или услуги напрямую конечным потребителям (физическим лицам).

и систем и могут предоставлять базовые цифровые услуги, такие как мониторинг запасных частей, интервалов технического обслуживания и иные подобные функции (Jovanovic et al., 2021). Цифровые экосистемы начального уровня соединяют виртуальные и физические объекты независимо от их локализации, что облегчает их удаленное управление через сетевые инфраструктуры (Rymaszewska et al., 2017). Используя свойства объектов, встроенных в беспроводные технологии (например, датчики, микропроцессоры, трекеры активности и подключенные устройства), продуктовые экосистемы, например, «Thingworx», «MindSphere» или «SAP Leonardo», создают и обмениваются данными, которые добавляют новое измерение разработчикам стратегий и открывают возможности для формирования новых услуг (Berente et al., 2021).

Основываясь на научных публикациях о цифровизации экосистем (Madanaguli et al., 2023; Ковалев и др., 2025; Нигай, 2023), в настоящем исследовании цифровые бизнес-экосистемы разделены на четыре типа:

- 1) платформы для повышения эффективности промышленного продукта (экосистемы продукта, экосистемы цепочки поставок);
- 2) промышленные маркетплейсы – платформы для промышленных трансакций;
- 3) цифровые сервисные экосистемы;
- 4) многосторонние цифровые бизнес-экосистемы (Попов и др., 2024).

Согласно этой логике, исследуемая компания («ЭНСОНС» – производитель трансформаторно-реакторного оборудования³) находится в начальной точке цифровой эволюции, то есть на этапе перехода от традиционного типа к типу цифровой экосистемы продукта. Стратегия цифровизации компании на 2022–2024 гг. была разработана в соответствии с авторской методикой (Попов и др., 2025а).

В 2022–2024 гг. предприятие реализовало поэтапную цифровизацию, включающую формирование единого цифрового контура (ERP/PLM/CRM и корпоративные сервисы), автоматизацию ключевых процессов управления

и производства (в том числе планирование и диспетчеризацию), запуск элементов мониторинга производственных данных (IoT как шаг к цифровому двойнику), а также развитие цифровых компетенций персонала через обучение и внутренние коммуникации. Мониторинг реализации стратегии осуществлялся на основе интеграции ERP и аналитических инструментов (BI), что обеспечивало регулярную оценку динамики KPI и корректировку приоритетов цифровых инициатив. В дальнейшем предусмотрено внедрение интеллектуальных инструментов прогнозирования и сценарного моделирования, что позволит перейти к принципам адаптивного управления и повысить гибкость всей системы стратегического планирования.

Описание стратегии цифровизации «ЭНСОНС» по годам и занимаемая ей позиция в типологизации бизнес-экосистем важны для интерпретации результатов расчета индекса эффективности цифровизации. Далее показаны данные расчета индекса по представленной выше методике.

Расчет экономического компонента эффекта цифровизации (E)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{LP} = 0,43$, $w_{Kvc} = 0,30$, $w_{ССС} = 0,27$.

В таблице 2 представлены исходные значения метрик, относительные изменения и нормированные значения; отражены экономические эффекты по годам для каждой компоненты с учетом весовых характеристик.

Расчеты показывают, что значения экономического эффекта показывают устойчивый рост в течение двух лет подряд. Рывок 2023 г. обеспечили LP и Kvc, а в 2024 г. основной импульс дал ССС (ускорение оборота денежных средств), так как выручка/выработка уже находились на плато, и эффект начал перетекать в оборотный капитал.

Расчет операционного компонента эффекта цифровизации (O)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе

³ «Компания ЭНСОНС» [Электронный ресурс]. URL: <https://ensons.ru/company> (дата обращения: 06.11.2025).

Таблица 2. Расчет экономического компонента (E) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 2. Calculation of the economic component (E) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя		Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.
ΔLP_{norm}^{22-24}	0,500	Q, руб.	433 530 000	787 551 000	962 439 000
		T, чел.	104	108	127
		LP (benefit)	4 168 558	7 292 139	7 578 260
		LP_{norm}	0,500	1,000	1,000
$\Delta Kvc_{norm}^{22-24}$	0,179	R, руб.	433 530 000	787 551 000	962 439 000
		VC, руб.	241 384 000	394 529 000	480 334 000
		Kvc (cost)	0,56	0,50	0,50
		Kvc_{norm}	0,500	0,679	0,679
$\Delta CCC_{norm}^{22-24}$	0,270	D_{zr} дни	212	215	173
		D_{deb} дни	35	24	27
		D_{cred} дни	31	12	19
		CCC (cost)	216	227	181
		CCC_{norm}	0,500	0,415	0,770
Экономический компонент эффекта цифровизации					
ΔE^{22-24}	0,341	w_{LP}	0,43	0,43	0,43
		w_{Kvc}	0,30	0,30	0,30
		w_{CCC}	0,27	0,27	0,27
		E	0,500	0,746	0,841

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

«Методология исследования», и составили:
 $w_{LT} = 0,57$, $w_D = 0,43$.

В таблице 3 представлены исходные значения метрик операционного эффекта, относительные изменения и нормированные значения;

отражены операционные эффекты по годам для каждой компоненты с учетом весовых характеристик.

Из данных таблицы 3 видно, что операционный эффект показывает сильный рост в 2023 г.

Таблица 3. Расчет операционного компонента (O) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 3. Calculation of the operational component (O) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя		Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.
ΔLT_{norm}^{22-24}	0,080	LT, дни (cost)	104	93	99
		LT_{norm}	0,500	0,676	0,580
ΔD_{Rnorm}^{22-24}	0,500	N, шт.	296	352	550
		D, шт.	29	27	35
		D_R (cost)	0,098	0,077	0,064
		D_{Rnorm}	0,500	0,857	1,000
Операционный компонент эффекта цифровизации					
ΔO^{22-24}	0,261	w_{LT}	0,57	0,57	0,57
		w_D	0,43	0,43	0,43
		O	0,500	0,754	0,761

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

и небольшое увеличение в 2024 г. Основной драйвер – D_R (снижение дефектности), LT несколько снизил вклад в 2024 г. («эффект насыщения» после первичных улучшений), качество стабилизировалось, дальнейший прирост индекса требует больше усилий – нужна точечная оптимизация времени протекания процессов (выявление узких мест, диспетчеризация).

Расчет технического компонента эффекта цифровизации (Т)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{AuR} = 0,28$, $w_{AvR} = 0,72$.

В таблице 4 представлены исходные значения метрик технического эффекта цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены технические эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Данные таблицы 4 показывают поступательный рост технического компонента без резких скачков. Основной вклад вносит AuR (доля автоматизации), тогда как AvR растет плавно. Аппаратное и программное обеспечение внедрены, следующим шагом является расширение охвата и повышение отказоустойчивости (доступности).

Расчет социального компонента эффекта цифровизации (S)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{DL} = 0,61$, $w_{ST} = 0,39$.

В таблице 5 представлены исходные значения метрик социального компонента цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены социальные эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Из таблицы 5 видно, что в 2023 г. произошел значительный рост социального компонента за счет DL (обучение), но в 2024 г. возникла серьезная проблема по ST (текучести персонала), что снижает значение компонента. Отсутствие поддерживающих регламентов в обучении, а также мотивационной стратегии приводит к «утечке» социального компонента эффекта.

Расчет компонента эффекта цифровизации на изменения конкурентного состояния ядра бизнес-экосистемы (CP)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{MS} = 0,5$, $w_{RP} = 0,5$.

Таблица 4. Расчет технического компонента (Т) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.

Table 4. Calculation of the technical component (T) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
$\Delta AvR_{norm}^{22-24}$	0,075	$T_{работы}$ дни	312	319	327
		$T_{общее}$ дни	351	351	352
		AvR (benefit)	0,889	0,909	0,929
		AvR_{norm}	0,5	0,537	0,575
$\Delta AuR_{norm}^{22-24}$	0,500	N_{auto} шт.	888	1848	3053
		N_{total} шт.	17760	21120	33000
		AuR (benefit)	0,050	0,088	0,093
		AuR_{norm}	0,500	1,000	1,000
Технический компонент эффекта цифровизации					
ΔT^{22-24}	0,194	w_{AuR}	0,28	0,28	0,28
		w_{AvR}	0,72	0,72	0,72
		T	0,500	0,667	0,694

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»

Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

Таблица 5. Расчет социального компонента (S) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 5. Calculation of the social component (S) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
ΔDL_{norm}^{22-24}	0,500	N_{ed} , чел.	10	18	24
		N_{reg} , чел.	104	108	127
		DL (benefit)	0,096	0,167	0,189
		DL_{norm}	0,500	1,000	1,000
ΔST_{norm}^{22-24}	-0,193	ST (cost)	0,346	0,296	0,386
		ST_{norm}	0,500	0,741	0,307
Социальный компонент эффекта цифровизации					
ΔS^{22-24}	0,230	w_{DL}	0,61	0,61	0,61
		w_{ST}	0,39	0,39	0,39
		S	0,500	0,899	0,730

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

В таблице 6 представлены исходные значения метрик рыночного эффекта цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены рыночные эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Здесь наблюдается нормальный рост компонента. Основной драйвер сместился с MS (доля рынка) в 2023 г. на RP (повторные покупки) в 2024 г. Цифровые процессы закрепили возврат клиентов; доля рынка не обязана расти постоянно, но важно удержать контур повторных продаж.

Расчет весов компонентов эффекта цифровизации

Расчет весов компонентов интегрального индекса цифровизации ($w_E, w_O, w_T, w_S, w_{CP}$) производился на основе данных экспертного опроса топ- и среднего уровня менеджмента ядра бизнес-экосистемы. Средние нормализованные значения матрицы попарного сравнения компонентов представлены в таблице 7.

Согласно расчету, веса компонентов приняли следующие значения $w_E = 0,44$; $w_O = 0,24$; $w_T = 0,14$; $w_S = 0,05$; $w_{CP} = 0,13$.

Таблица 6. Расчет рыночного компонента (CP) эффекта цифровизации, за 2022–2024 гг.
Table 6. Calculation of the market component (CP) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
ΔMS_{norm}^{22-24}	0,088	S_{comp} , тыс. руб.	433 530	787 551	962 439
		S_{market} , тыс. руб.	1 039 020	1 500 060	2 194 351
		MS (benefit)	0,417	0,525	0,439
		MS_{norm}	0,500	0,932	0,588
ΔRP_{norm}^{22-24}	0,500	N_{repeat}	54	62	97
		N_{unique}	67	76	89
		RP (benefit)	0,806	0,816	1,090
		RP_{norm}	0,500	0,521	1,000
Рыночный компонент эффекта цифровизации					
ΔCP^{22-24}	0,294	w_{MS}	0,5	0,5	0,5
		w_{RP}	0,5	0,5	0,5
		CP	0,500	0,726	0,794

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

Таблица 7. Средние нормализованные значения матрицы попарного сравнения для компонентов *E, O, T, S* и *CP***Table 7.** Average normalized values of the pairwise comparison matrix for components *E, O, T, S*, and *CP*

norm	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>CP</i>
E	0,47	0,57	0,46	0,32	0,37
O	0,16	0,19	0,26	0,21	0,37
T	0,14	0,13	0,12	0,19	0,11
S	0,08	0,05	0,04	0,05	0,03
CP	0,15	0,06	0,12	0,23	0,11

Источник: составлено авторами на основе анкетирования сотрудников компании

Source: compiled by the authors based on a survey of company employees

Для проверки согласованности используем индекс согласованности результатов, рассчитываемый по формуле (19):

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}, \quad (19)$$

где λ_{max} – максимальное собственное значение матрицы, для представленной матрицы равно 5,42;

n – размер матрицы (число критериев), равно 5.

$$CI = \frac{5,42 - 5}{5 - 1} = 0,105,$$

Далее согласно методу анализа иерархий необходимо рассчитать CR (Consistency Ratio, коэффициент согласованности) – показатель, который используется для оценки согласованности суждений экспертов при построении матриц попарных сравнений. CR позволяет определить,

насколько логичны и непротиворечивы оценки, внесенные в матрицу, по сравнению со случайным (несогласованным) заполнением, считается по формуле (20):

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (20)$$

где RI – табличное значение индекса случайной согласованности (для $n = 5$, $RI = 1,12$), тогда $CR = \frac{0,105}{1,12} = 0,09$. Так как $CR < 0,1$, то матрица считается согласованной и значения сравнения критериев экспертами транзитивны.

Наибольший вес имеет экономический эффект ($E = 0,44$), что отражает ориентацию экспертов компании на финансовую результативность цифровизации. Вторым по значимости является операционный эффект ($O = 0,24$), подчеркивающий ценность оптимизации процессов. Технический эффект ($T = 0,14$) и конкурентное предложение ($CP = 0,13$) занимают средние позиции, а социальный эффект ($S = 0,05$) признан наименее значимым, что свидетельствует о вторичности социального аспекта в восприятии цифровизации в компании (рисунок 1).

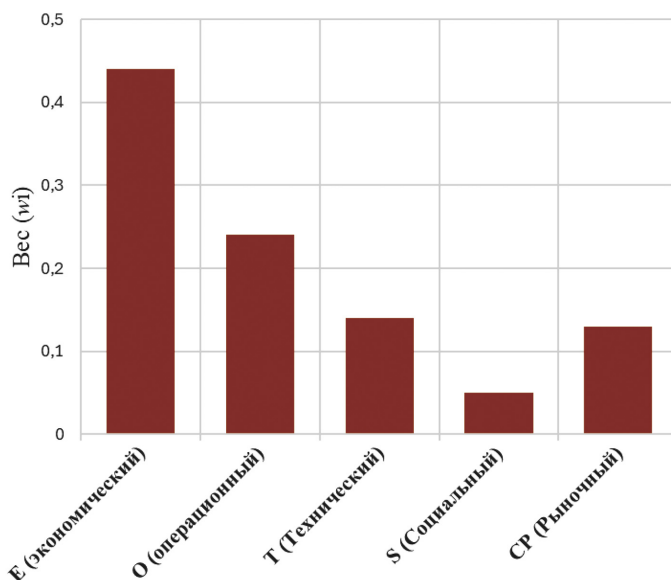


Рисунок 1. Гистограмма распределения весов компонентов интегрального индекса эффективности цифровизации

Figure 1. Histogram of the weight distribution of the components of the Integral digitalization efficiency index

Источник: составлено авторами

Source: compiled by the authors

Таблица 8. Расчет интегрального индекса цифровизации (ИИЕ) ядра бизнес-экосистемы за 2022–2024 гг.
Table 8. Calculation of the integral digitalization index (IIE) of the business ecosystem core, 2022–2024

Индекс цифровизации за период	IIE^{2022}	IIE^{2023}	IIE^{2024}	ΔIIE^{22-24}
Значение	0,5	0,742	0,790	0,290

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

Расчет индекса интегральной эффективности цифровизации (ИИЕ):

Результаты расчета индекса интегральной эффективности цифровизации представлены в таблице 8.

Из данных по динамике интегрального индекса эффективности цифровизации (таблица 8) следует, что в процессе реализации методики цифровизации компания достигла следующих значений ИИЕ:

- в 2023 г. $IIE = 0,742$, то есть рост к значению 2022 г. составил +0,242 пунктов (+48,36% к базе 2022 г.),
- в 2024 г. $IIE = 0,790$, то есть рост к значению 2022 г. составил +0,290 пунктов (+57,94% к базе) и +0,048 пунктов к 2023 г.

Визуализация результатов показан на рисунке 2.

Результаты внедрения цифровых технологий в рассматриваемые периоды можно

охарактеризовать по условной шкале зрелости следующим образом:

- 2022 г.: 0,50 – переходная стадия (стартовая база);
- 2023 г.: 0,74 – устойчивое положительное влияние, ближе к «зрелой фазе»;
- 2024 г.: 0,79 – укрепление зрелости, потенциал для дальнейшего роста сохранен.

Общий вывод состоит в том, что влияние цифровизации оказалось устойчиво положительным. Уже в 2023 г. интегральный индекс уверенно превысил порог зрелости 0,60, а в 2024 г. закрепил улучшение на уровне около 0,79. Это соответствует переходу от локальных эффектов к системным. При этом стоит отметить динамику прироста: 2023 г. к 2022 г. она составила +0,242, тогда как 2024 г. к 2023 г. – уже +0,048. Это означает, что основная часть прироста была достигнута в 2023 г. (за счет внедрения и запуска ключевых цифровых практик), а в 2024 г. рост

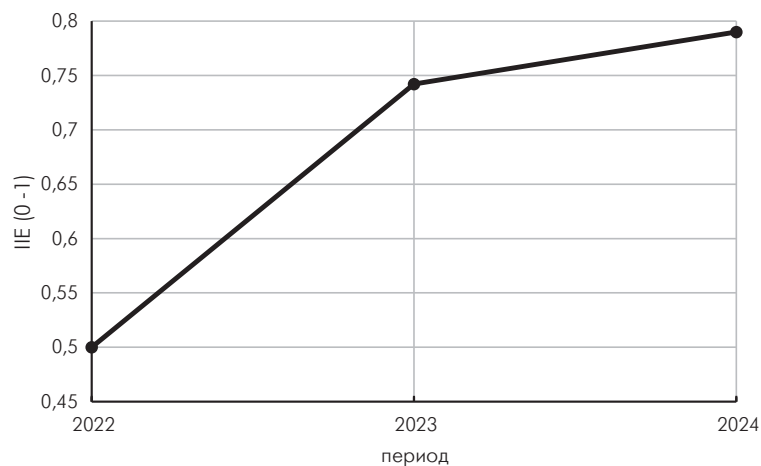


Рисунок 2. Динамика интегрального индекса цифровизации (ИИЕ)
Figure 2. Dynamics of the integral digitalization index (IIE)

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

продолжился, но замедлился, что является относительно типичным паттерном после реализации первичных эффектов цифровизации.

По таблицам вкладов эффектов (таблицы 2–6) видно следующее:

- экономический компонент (Е) и рыночный/клиентский (СР) заметно нарастили вклад в 2024 г.;
- операционный компонент (О) улучшился и стабилизировался;
- технический компонент (Т) растет поступательно;
- социальный компонент (S) снизился относительно 2023 г. за счет специфической ситуации на рынке труда, что частично замедлило общий темп прироста индекса в 2024 г.

Для более глубокого понимания вклада каждого из компонентов в изменение интегрального индекса эффективности цифровизации, то есть чтобы определить, сколько именно пунктов в ИЕ принес каждый компонент и выявить «узкие места», замедлившие рост в 2024 г., используем каскадную диаграмму (2022–2024), представленную на рисунке 3. Значения изменения компонентов рассчитаны по формуле (21):

$$\Delta ИЕ = \sum_k w_k \times (X_k^{2024} - X_k^{2022}) \quad (21)$$

Водопад за период с 2022 по 2024 гг. показывает общий прирост ИЕ = +0,2897. Доли компонентов в суммарном приросте распределились следующим образом (в порядке значимости):

- Е – 51,9% (+0,1503): главный драйвер роста за счет комбинации роста выработки, дисциплины оборотного капитала и умеренного снижения удельных переменных затрат;
- О – 21,6% (+0,0626): второй по значимости вклад, где цифровые практики качества дали более ощутимый эффект, чем ускорение времени производственного цикла;
- СР – 13,2% (+0,0382): цифровизация заметно усилила лояльность существующих клиентов/повторные сделки, при умеренном росте рыночной доли;
- Т – 9,4% (+0,0272): эффект в основном обусловлен расширением автоматизации технологических процессов, в меньшей степени – повышением доступности ИТ;

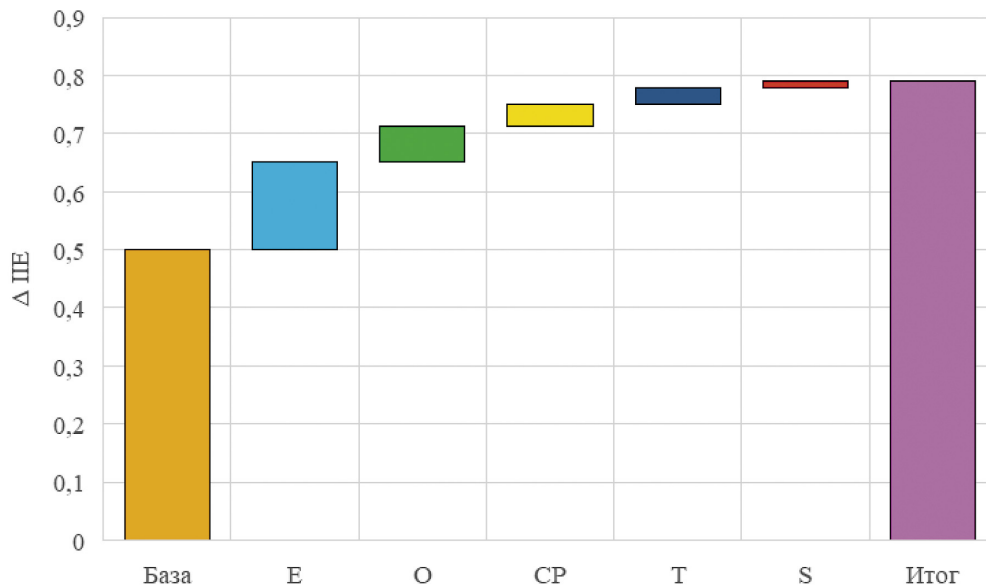


Рисунок 3. Каскадная диаграмма вкладов эффектов цифровизации за 2022–2024 гг.
Figure 3. Waterfall diagram of digitalization effect contributions, 2022–2024

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

- S – 4,0% (+0,0115): масштабное обучение цифровой грамотности дало вклад, но текучесть персонала частично нивелировала этот эффект.

Исходя из полученных результатов, можно сделать некоторые практические выводы по управлению системой цифровизации на будущие периоды (2025 и 2026 гг.):

1. Зафиксировать экономические драйверы (E):

- Продолжать практики, влияющие на ССС (управление складом, закупками, дебиторской и кредиторской задолженностью, сквозная план-факт аналитика). Этот рычаг в 2024 г. стал главным источником дополнительного прироста.
- LP достигло плато (нормализованное значение $\sim 1,00$); новые точки роста требуют не экстенсивного наращивания, а узкой настройки: балансировка мощностей, снижение переналадок, «тонкая» оптимизация R/O.

2. Усилить социальный компонент (S): Фокус на ST – стратегия на удержание персонала.

3. Возвратить динамику операционного компонента (O), показанную в 2023 г.: продолжить уменьшение D_R , который уже дал существенный эффект. Следующий шаг – улучшение LT через работу с узкими местами (картирование потока, такт-тайм, очереди, диспетчеризация, MES-системы), даже небольшой прогресс LT в 2025–2026 гг. заметно усилит ИЕ.

4. Масштабировать рыночные механики (CP) по удержанию клиентов: основной драйвер – RP. Формализовать систему повторных сделок: сегментация, триггеры, процедуры на обработку лидов/заявок, петли обратной связи из сервиса в продукт.

Для интерпретации значений ИЕ целесообразно использовать условную шкалу зрелости, например:

- $<0,40$ – фрагментарные инициативы;
- $0,40-0,59$ – локальные эффекты;
- $0,60-0,74$ – устойчивый эффект;
- $\geq 0,75$ – сквозная оптимизация.

В исследуемом кейсе ИЕ вырос с 0,50 в 2022 г. до 0,79 в 2024 г., что соответствует переходу от локальных улучшений к устойчивому

системному эффекту цифровизации при наличии ограничений по отдельным компонентам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего исследования разработан и апробирован методический подход к интегральной оценке эффективности цифровизации промышленного предприятия, основанный на агрегировании экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов. Полученные результаты демонстрируют возможность использования интегрального индекса как инструмента обобщенной оценки динамики эффективности цифровизации на уровне ядра бизнес-экосистемы.

Предлагаемый подход обладает рядом преимуществ:

- формирует единое аналитическое пространство для различных функциональных областей (финансов, производства, ИТ, коммерции), обеспечивая сопоставимость оценок и согласование приоритетов;
- интегральный индекс выполняет функцию раннего предупреждения, позволяя выявлять ухудшение отдельных параметров (например, денежного цикла или дисциплины исполнения) даже при формально благоприятной динамике выручки;
- использование индекса повышает обоснованность планирования цифровых инициатив за счет их привязки к ожидаемым изменениям конкретных эффектов и последующей верификации результатов.

Стоит учитывать, что применение интегрального индекса сопряжено с рядом ограничений. Агрегация показателей неизбежно упрощает реальность и требует осторожной интерпретации результатов. Корректность оценки зависит от качества исходных данных и регулярной актуализации весов и пороговых параметров; в противном случае индекс теряет аналитическую устойчивость. Кроме того, использование инструмента предполагает дополнительные затраты на измерения и развитие аналитической компетенции, без которых его практическая ценность существенно снижается. При этом авторы также понимают ключевое методологическое ограничение предложенного подхода к оценке связи

цифровизации с результатами деятельности предприятия, которое заключается в невозможности однозначного выделения вклада цифровизации в изменение интегрируемых эффектов, поскольку динамика соответствующих показателей формируется под воздействием совокупности факторов, не сводимых исключительно к цифровым преобразованиям.

Вместе с тем интегральный индекс эффективности цифровизации не задает универсального нормативного ориентира «предельного» уровня цифровизации для промышленного предприятия. Диапазон возможного дальнейшего роста индекса и связанной с ним эффективности определяется стадией цифровой зрелости компании, отраслевой спецификой, бизнес-моделью и организационными ограничениями. По мере приближения значений индекса к высоким уровням прирост эффективности от дальнейшей цифровизации, как правило, замедляется, а основной вклад начинают вносить не отдельные цифровые решения, а глубина их интеграции в бизнес-процессы, управленческие практики и взаимодействие с внешним контуром бизнес-экосистемы.

В этом смысле интегральный индекс может использоваться не как инструмент достижения абстрактного «максимального уровня цифровизации», а как навигационный показатель, позволяющий оценивать текущую позицию предприятия, выявлять зоны убывающей отдачи от цифровых инициатив и обосновывать переход от количественного наращивания цифровых решений к качественным изменениям в архитектуре управления и экосистемных взаимодействиях.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие методики за счет повышения точности оценки (персонализация порогового параметра θ по компонентам индекса), усиления доказательной базы (использование контрфактических сравнений и анализ связи с финансовыми результатами), а также повышения адаптивности инструментария (динамические веса). Это позволит расширить аналитические возможности интегрального индекса и повысить его прикладную ценность.

Таким образом, в исследовании представлен и апробирован комплексный метод

интегральной оценки эффективности цифровизации ядра бизнес-экосистемы, результаты которого могут быть использованы для развития теоретических представлений о цифровой эффективности и формирования эмпирической базы дальнейших исследований.

Во-первых, использование интегрального индекса позволяет свести разрозненные показатели, отражающие различные эффекты цифровизации, в единый сопоставимый во времени аналитический показатель. Это упрощает интерпретацию результатов цифровизации и обеспечивает целостное представление о направлении и характере изменений эффективности деятельности предприятия. При этом агрегирование показателей в интегральный индекс не подменяет анализа отдельных компонент и метрик. Напротив, интерпретация динамики индекса предполагает обязательный покомпонентный анализ вкладов эффектов цифровизации, что позволяет выявлять источники роста или снижения интегрального показателя и избегать нивелирования разнонаправленных изменений. Результаты интегральной оценки могут использоваться в качестве информационной основы для анализа хода цифровизации, выявления узких мест и обоснования направлений корректировки стратегии цифрового развития предприятия.

Во-вторых, анализ динамики показателей позволяет рассматривать цифровизацию не как совокупность разрозненных инициатив, а как аналитически поддерживаемый цикл «диагностика → приоритизация → корректировка стратегии». Сопоставление во времени интегрального индекса и его компонент (E, O, T, S, CP) позволяет выявлять дисбалансы эффектов цифровизации: например, рост экономического компонента при стагнации операционного указывает на ограничения во времени протекания процессов (LT) или дисциплине исполнения (ST). Анализ вкладов компонент и отдельных метрик (LP, DR, RP, CCC и др.) обеспечивает идентификацию факторов, формирующих динамику индекса, и позволяет определить направления с наибольшим потенциалом улучшения. Это создает основу для адресной корректировки приоритетов цифровых инициатив, перераспределения ресурсов

и мониторинга устойчивости достигнутых результатов, а также выполняет функцию раннего предупреждения при ухудшении значимых компонент.

Авторство и вклад в научное исследование

Попов, Е.В.: Научное руководство, Разработка концепции.

Симонова, В.Л.: Административное руководство исследовательским проектом, Валидация результатов.

Зырянов, А.С.: Разработка методологии, Проведение исследования, Написание черновика рукописи, Визуализация, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Contributions

Popov, E.V.: Scientific supervision, Concept development.

Simonova, V.L.: Administrative management of the research project, Validation of results.

Zyrianov, A.S.: Methodology development, Study implementation, Manuscript drafting, Visualization, Manuscript writing – review and editing.

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников/ References

1. Абрамов, В.И., Гордеев, В.В., & Столяров, А.Д. (2024). Цифровая трансформация промышленных предприятий в цифровые бизнес-экосистемы: структурные компоненты и практические аспекты реализации. *Фундаментальные исследования*, (9), 78–85. EDN: EFIZBI, <https://doi.org/10.17513/fr.43680>
Abramov, V.I., Gordeev, V.V., & Stolyarov, A.D. (2024). Digital transformation of industrial enterprises into digital business ecosystems: Structural components and practical aspects of implementation. *Fundamental Research*, (9), 78–85. EDN: EFIZBI (in Russian) <https://doi.org/10.17513/fr.43680>
2. Васильева, Е.В. (2023). Методология исследования возможностей цифровых платформ и экосистем: Опыт применения Platform Innovation Kit. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 19(1), 24–35. EDN: AHQXPS, <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.024-035>
Vasilieva, E.V. (2023). Methodology for exploring the possibilities of digital platforms and ecosystems: Experience of using Platform Innovation Kit. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 19(1), 24–35. EDN: AHQXPS (in Russian) <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.024-035>
3. Каленов, О.Е. (2023). Оценка эффективности деятельности бизнес-экосистем в цифровой экономике. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 20(1(127)), 162–174. EDN: VJXTRC, <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-1-162-174>
Kalenov, O.E. (2023). Estimating Efficiency of Business Ecosystem Functioning in Digital Economy. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 20(1(127)), 162–174. EDN: VJXTRC (in Russian) <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-1-162-174>
4. Ковалев, В. Е., Ярошевич, Н. Ю., & Комарова, О. В. (2025). Цифровое будущее машиностроения: Оценка потенциала формирования платформенных рынков. *Управленец*, 16(1), 35–47. EDN: IYNDUH, <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2025-16-1-3>
Kovalev, V.E., Yaroshevich, N.Yu., & Komarova, O.V. (2025). The digital future of mechanical engineering: Assessing the potential for platform markets. *Upravlenets (The Manager)*, 16(1), 35–47. EDN: IYNDUH (in Russian) <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2025-16-1-3>
5. Нигай, Е.А. (2023). Формирование цифровых экосистем бизнеса в условиях развития информационного общества: Управленческий аспект. *Ars Administrandi (Искусство управления)*, 15(3), 353–376. EDN: OFEWBY, <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2023-3-353-376>
Nigai, E.A. (2023). Digital business ecosystems formation in the context of information society development: Management aspect. *Ars Administrandi (The Art of Management)*, 15(3), 353–376. EDN: OFEWBY (in Russian) <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2023-3-353-376>
6. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2024). Эволюция бизнес-экосистем в промышленности: от классического типа к цифровым. *Информатизация в цифровой экономике*, 5(3), 341–360. EDN: LVPLGO, <https://doi.org/10.18334/ide.5.3.121748>

- Popov, E.V., Simonova, V.L., & Zyrianov, A.S. (2024). The evolution of business ecosystems in industry: From the classical to the digital type. *Informatization in the Digital Economy*, 5(3), 341–360. EDN: LVPLGO (in Russian) <https://doi.org/10.18334/ide.5.3.121748>. (in Russian)
7. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А. С. (2025а). Формирование стратегии цифровизации бизнес-экосистемы промышленного предприятия. *Экономика и управление*, 31(5), 576–592. EDN: TBAVVS, <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-5-576-592>
 8. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2025б). Индекс интегральной эффективности цифровой платформенной бизнес-экосистемы. *Экономика промышленности*, 18(3), 405–420. EDN: NBPLIG, <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-3-1440>
 9. Alhassan, M., & Adam, I. (2021). The effects of digital inclusion and ICT access on the quality of life: A global perspective. *Technology in Society*, (64), 101511. EDN: LNZOSV, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101511>
 10. Berente, N., Gu, B., Recker, J., & Santhanam, R. (2021). Managing artificial intelligence. *MIS Quarterly*, 45(3), 1433–1450. EDN: ZDHGRI, <https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/16274>
 11. Björkdahl, J. (2020). Strategies for digitalization in manufacturing firms. *California Management Review*, 62(4), 17–36. EDN: NXYFTB, <https://doi.org/10.1177/0008125620920349>
 12. Brynjolfsson, E., Hitt, L.M., & Kim, H.H. (2011). Strength in numbers: How does data-driven decision making affect firm performance? In *Proceedings of the International Conference on Information Systems (ICIS2011)* (pp. 541–558). Association for Information Systems. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1819486>
 13. Cubric, M. (2020). Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. *Technology in Society*, (62), 101257. EDN: DJMDBS, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101257>
 14. Deepu, T.S., & Ravi, V. (2021). Exploring critical success factors influencing adoption of digital twin and physical internet in electronics industry using grey-DEMATEL approach. *Digital Business*, 1(2), 100009. EDN: LCWWVT, <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2021.100009>
 15. Hanelt, A., Busse, S., & Kolbe, L.M. (2017). Driving business transformation toward sustainability: Exploring the impact of supporting IS on the performance contribution of eco-innovations. *Information Systems Journal*, 27(4), 463–502. <https://doi.org/10.1111/isj.12130>
 16. Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesbock, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123–139.
 17. Jovanovic, M., Sjodin, D., & Parida, V. (2022). Co-evolution of platform architecture, platform services, and platform governance: Expanding the platform value of industrial digital platforms. *Technovation*, (118), 102218. EDN: GDZUGD, <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102218>
 18. Madanaguli, A., Parida, V., Sjodin, D., & Oghazi, P. (2023). Literature review on industrial digital platforms: A business model perspective and suggestions for future research. *Technological Forecasting and Social Change*, (194), 122606. EDN: WFJTBI, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122606>
 19. Meng, F., & Wang, W. (2020). Research on the mechanism of digitalization to the improvement of manufacturing enterprises performance based on mediating effect. In *2020 6th IEEE International Conference on Information Management (ICIM)* (pp. 122–126). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIM49319.2020.244683>
 20. Nandkumar, A., Mani, D., & Bharadwaj, A. (2018). Market returns to digital innovations: A group based trajectory approach. *Academy of Management Proceedings*, 2018(1), 15241. <https://doi.org/10.5465/ambpp.2018.15241abstract>
 21. Park, Y., & Saraf, N. (2016). Investigating the complexity of organizational digitization and firm performance: A set-theoretic configurational approach. In *Proceedings of the 22nd Americas Conference on Information Systems (AMCIS2016)*. Association for Information Systems.
 22. Rymaszewska, A., Helo, P., & Gunasekaran, A. (2017). IoT powered servitization of manufacturing: An exploratory case study. *International Journal of Production Economics*, (192), 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.016>
 23. Rungi, M. (2019). Digitalization: Size doesn't matter, put focus on product-and-service, not on process. In *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 741–745). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978749>

24. Sener, E., & Yuksel, A.N. (2017). The reflections of digitalization at organizational level: industry 4.0 in Turkey. *Pressacademia*, 6(3), 291–300. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.688>
25. Sia, S.K., Soh, C., & Weill, P. (2016). How DBS Bank pursued a digital business strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 105–121.
26. Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., & Wilcox, C. (2009). Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Analysis*, 29(1), 26–33. EDN: MMJGDH, <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x>
27. Verhoef, P.C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J.Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. EDN: BUXSM, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
28. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). The nine elements of digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 55(3), 1–6.
29. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179.

Информация об авторах

Попов Евгений Васильевич – доктор экономических наук, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Центра социально-экономических исследований Уральского института управления РАНХиГС; ORCID 0000-0002-5513-5020, Scopus Author ID: 24822113400, WoS Researcher ID: H-3358-2015 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: epopov@mail.ru).

Симонова Виктория Львовна – кандидат экономических наук, заместитель директора Центра социально-экономических исследований Уральского института управления РАНХиГС; ORCID: 0000-0003-2814-464X, WoS Researcher ID: j-7050-2017 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: simonova4@yandex.ru).

Зырянов Александр Сергеевич – аспирант Уральского института управления РАНХиГС, ORCID 0009-0002-2015-6742; WoS Researcher ID: LEL-8920-2024 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: zyrianov.info@gmail.com).

Authors

Evgeny V. Popov – Doctor of Economic Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Center for Socio-Economic Research of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0000-0002-5513-5020, Scopus Author ID: 24822113400, WoS Researcher ID: H-3358-2015 (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: epopov@mail.ru).

Victoria L. Simonova – Candidate of Economic Sciences, Deputy Director of the Center for Socio-Economic Research of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0000-0003-2814-464X; WoS Researcher ID: j-7050-2017; (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: simonova4@yandex.ru).

Aleksandr S. Zyrianov – Postgraduate student of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0009-0002-2015-6742; WoS Researcher ID: LEL-8920-2024; (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: zyrianov.info@gmail.com).

Поступила в редакцию (Received) 14.01.2026

Поступила после рецензирования (Revised) 17.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 11.03.2026