

Бисултанова Аза Айндиевна
Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова
Бутенко Екатерина Дмитриевна
Северо-Кавказский федеральный университет
Казимагомедова Зарема Алияровна
Дагестанский государственный университет

Цифровые экосистемы в экономике знаний: модели оценки устойчивости и их роль в обеспечении устойчивого инновационного роста

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена ускоряющейся трансформацией экономических систем под влиянием цифровизации и глобальных вызовов, таких как климатические риски, геополитическая нестабильность и технологическая фрагментация. В условиях, когда цифровые экосистемы становятся ключевым драйвером инновационного роста, возникает острая необходимость в разработке адаптивных моделей оценки их устойчивости, учитывающих не только классические ESG-параметры, но и специфику знаниевой экономики. Целью исследования является формирование теоретико-методологической базы для оценки устойчивости цифровых экосистем на уровне предприятий и межорганизационных сетей с учётом инновационной активности, когнитивной сложности и цифровой зрелости. В ходе исследования использованы системный подход, сравнительный анализ, метод энтропийного взвешивания, метод Ляпунова, а также элементы предиктивной аналитики и машинного обучения для оценки динамики устойчивости. К результатам исследования относятся: актуализация концептуальных моделей устойчивого развития с учётом трансформации экологического компонента в «инновационный» или «цифровой»; предложение композитного индекса устойчивости цифровой экосистемы (CIDE); разработка двух таблиц метрик – по аспектам устойчивости и по уровням анализа. В заключении подчёркивается, что устойчивость цифровых экосистем в экономике знаний невозможна без синергии между технологической зрелостью, инновационной политикой и социальной ответственностью, а также без учёта региональных и отраслевых особенностей, особенно в условиях развивающихся регионов, таких как Республика Дагестан.

Ключевые слова: цифровая экосистема, устойчивое развитие, экономика знаний, инновационная устойчивость, ESG-индикаторы, цифровая зрелость, композитный индекс, системный подход.

Bisultanova Aza Ayndieva
Kadyrov Chechen State University
Butenko Ekaterina Dmitrievna
North Caucasian Federal University
Kazimagomedov Zarema Aliyarovna
Dagestan State University

Digital ecosystems in the knowledge economy: sustainability assessment models and their role in ensuring sustainable innovative growth

Abstract. The relevance of the research is due to the accelerating transformation of economic systems under the influence of digitalization and global challenges such as climate risks, geopolitical instability and technological fragmentation. At a time when digital ecosystems are becoming a key driver of innovative growth, there is an urgent need to develop adaptive models for assessing their

sustainability, taking into account not only classical ESG parameters, but also the specifics of the knowledge economy. The aim of the research is to form a theoretical and methodological framework for assessing the sustainability of digital ecosystems at the enterprise level and inter-organizational networks, taking into account innovation activity, cognitive complexity and digital maturity. The research uses a systematic approach, comparative analysis, entropy weighting method, Lyapunov method, as well as elements of predictive analytics and machine learning to assess stability dynamics. The results of the study include: updating conceptual models of sustainable development, taking into account the transformation of the environmental component into an "innovative" or "digital" one; the proposal of a composite index of sustainability of the digital ecosystem (CIDE); the development of two tables of metrics – on aspects of sustainability and on levels of analysis. In conclusion, it is emphasized that the sustainability of digital ecosystems in the knowledge economy is impossible without synergy between technological maturity, innovation policy and social responsibility, as well as without taking into account regional and sectoral specifics, especially in developing regions such as the Republic of Dagestan.

Keywords: digital ecosystem, sustainable development, knowledge economy, innovative sustainability, ESG indicators, digital maturity, composite index, system approach.

Введение

В XXI веке мир переживает четвертую промышленную революцию, характеризующуюся синергией искусственного интеллекта, больших данных, интернета вещей и блокчейн-технологий [1]. В этих условиях концепция устойчивого развития, впервые сформулированная в «Докладе Брунтланд» (1987), трансформируется: устойчивость всё чаще рассматривается не только через призму экологии, но и через призму цифровой адаптивности, когнитивной устойчивости и инновационной способности [2]. Современные исследования демонстрируют, что более 90 % крупных корпораций интегрируют ESG-принципы в стратегию, однако только 38 % имеют формализованные методы оценки устойчивости на уровне цифровых экосистем [3].

Цифровая экосистема – это сложная адаптивная система, включающая стейкхолдеров, цифровые платформы, данные, ИТ-архитектуру и процессы, направленные на создание совместной ценности [4]. В экономике знаний ключевым ресурсом становится не капитал, а знание, что требует переосмысления традиционных моделей устойчивости. В частности, экологический компонент классической модели («три круга») может быть частично замещён показателями инновационной зрелости, кибербезопасности и цифровой инклюзии [5].

На фоне глобальных кризисов (пандемия, энергетический переход, цифровое неравенство) особенно актуальны вопросы устойчивости на микроуровне – на уровне предприятий и локальных инновационных экосистем [6]. Однако существующие модели (например, GRI, UNCSД) ориентированы преимущественно на государственный или корпоративный уровень и слабо применимы к малому и среднему бизнесу или региональным цифровым хамам, таким как Дагестан [7].

Таким образом, назревает потребность в гибких, адаптивных и масштабируемых моделях оценки устойчивости, сочетающих системный подход, цифровые индикаторы и отраслевую специфику. Настоящая статья направлена на восполнение этого пробела.

Обзор литературы

Классическая модель устойчивого развития, представленная тремя взаимопересекающимися кругами (экономика, общество, экология), остаётся доминирующей, но всё чаще подвергается критике за статичность и игнорирование взаимосвязей между «столпами» [8]. В ответ на это предложены расширенные модели: UNCSД добавляет институциональный компонент [9], Wuppertal Institute – динамические индикаторы взаимодействия [10], а IChemE – отраслевые метрики для промышленности [11].

В последние годы наблюдается смещение акцента на цифровую устойчивость. Так, в работе Маштакова и Брусаковой [1] предложена модель оценки устойчивости цифровых

экосистем через призму инновационных процессов. Сазанова [2] подчёркивает роль социально-экономических экосистем в устойчивом росте при цифровизации. Ланская [12] рассматривает «совокупный актив инновационных экосистем» как аналог нематериального капитала в цифровой экономике знаний.

Особое внимание уделяется методам оценки. Метод энтропии позволяет объективно определять вес индикаторов без экспертного субъективизма [13]. Метод Ляпунова, применяемый в динамических системах, позволяет оценивать асимптотическую устойчивость цифровой экосистемы при внешних возмущениях [14]. Современные подходы включают использование нейросетевых моделей и big data-аналитики для прогнозирования устойчивости [15].

Однако большинство работ фокусируются на макроуровне. Лишь единичные исследования (например, [7, 12]) затрагивают уровень предприятий и региональных экосистем. При этом в условиях санкционного давления и технологической автономии, особенно актуальных для российских регионов, требуются локализованные модели, учитывающие специфику развития МСП и цифровой инфраструктуры [16].

Таким образом, несмотря на богатую базу теоретических моделей, сохраняется пробел в практических инструментах оценки устойчивости цифровых экосистем на уровне субъектов экономики, особенно в условиях развивающихся территорий.

Основная часть

Традиционная «тройная модель» устойчивого развития (Triple Bottom Line) [8] становится всё менее релевантной в условиях цифровой трансформации. В 2023–2025 гг. эксперты Всемирного экономического форума (WEF) и OECD подчёркивают необходимость интеграции «цифрового измерения» устойчивости, включающего кибербезопасность, цифровую грамотность, защиту данных и ИИ-этику [17, 18].

В условиях ускоренной цифровой трансформации традиционные модели оценки устойчивости и эффективности управления – в том числе классическая ESG-триада – требуют адаптации к новой реальности, где технологии становятся сквозным фактором развития. В этом контексте предлагается модифицированная модель «четырёх измерений», отражающая специфику цифровой экономики и переориентированная с экологического акцента (менее релевантного в чисто цифровых секторах) на инновационную и институциональную динамику.

Первое измерение – экономическое – сохраняет свою центральную роль, но приобретает цифровую специфику. Оно включает не только традиционные показатели прибыльности и рентабельности, но и инвестиции в информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), а также возврат на инвестиции (ROI) от реализации цифровых проектов. Это позволяет оценивать не просто финансовую устойчивость, но и стратегическую готовность организации к технологическому обновлению.

Второе измерение – социальное – расширяется за счёт цифровой инклюзии как ключевого принципа справедливого доступа к технологиям. Оно охватывает уровень цифровой грамотности и квалификации персонала, условия труда в условиях удалённой и гибридной занятости, а также меры по обеспечению равных возможностей для всех групп населения – включая пожилых людей, маломобильные категории и жителей удалённых регионов. Без учёта этих аспектов цифровизация рискует усилить социальное неравенство, а не снизить его.

Третье измерение – инновационное – предлагается в качестве замены традиционному экологическому компоненту в тех секторах, где прямое воздействие на окружающую среду минимально (например, в ИТ, финансах, образовании). Оно фокусируется на уровне цифровой зрелости организации, её патентной активности в области программных решений и алгоритмов, а также на практическом внедрении передовых технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (ML). Это измерение отражает способность организации не просто использовать технологии, а генерировать новые знания и

ценности на их основе.

Четвёртое, новое измерение – институциональное – подчёркивает роль управленческой и регуляторной среды. Оно включает регуляторную адаптивность – способность быстро реагировать на изменения в законодательстве и стандартах; развитие стратегических партнёрств с государством, наукой и бизнесом; а также качество корпоративного управления в цифровой среде – включая прозрачность, подотчётность и этику использования данных. Это измерение особенно важно в условиях неопределённости, когда устойчивость определяется не столько ресурсами, сколько гибкостью институтов.

Предложенная модель позволяет более точно оценивать готовность организаций и регионов к устойчивому развитию в цифровую эпоху, обеспечивая баланс между технологическим прогрессом, социальной ответственностью, экономической эффективностью и институциональной зрелостью.

Такой подход особенно уместен для секторов, где прямое экологическое воздействие минимально (например, ИТ, финтех, образование), но косвенное влияние через цифровую инфраструктуру и поведение пользователей значимо [19].

На основе анализа 40+ научных работ (2021–2025) были выделены ключевые индикаторы, сгруппированные по аспектам. Результат представлен в Таблице 1.

Таблица 1 – Индикаторы устойчивости цифровых экосистем по аспектам

Аспект	Индикатор
Экономический	ROI от цифровых инвестиций, доля выручки от цифровых продуктов, уровень автоматизации процессов
Социальный	Уровень цифровой грамотности сотрудников, индекс цифровой инклюзии, доля удалённых работников
Инновационный	Индекс цифровой зрелости (CMMI, IDC), патенты в области ИИ, доля R&D в ИКТ
Институциональный	Наличие цифровой стратегии, участие в цифровых кластерах, соответствие стандартам ИБ (ГОСТ Р 57580)

Из таблицы 1 видно, что индикаторы должны быть динамичными и сопоставимыми между организациями. Особенно перспективен композитный подход, где каждый индикатор взвешивается методом энтропии [13], что снижает субъективность.

Для практической оценки устойчивости цифровых экосистем в условиях динамичной внешней среды предлагается использовать Композитный индекс устойчивости цифровой экосистемы (CIDE). Этот индекс формируется как взвешенная сумма нормализованных значений ключевых индикаторов и рассчитывается по формуле:

$$CIDE = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i,$$

где X_i – нормализованное значение i -го индикатора (например, уровень кибербезопасности, доля цифровых сервисов, квалификация ИТ-персонала), а W_i – его вес, определяемый объективно с помощью метода энтропии, что минимизирует субъективность экспертных оценок и отражает информационную значимость каждого показателя.

Для моделирования динамики устойчивости во времени применяется метод Ляпунова, широко используемый в теории устойчивости сложных систем. Согласно этому подходу, система считается устойчивой, если соответствующая функция Ляпунова $V(t)$ монотонно убывает при $t \rightarrow \infty$. В контексте цифровой экосистемы под $V(t)$ предлагается понимать совокупный риск, включающий три ключевых компонента: киберугрозы (например, частота и тяжесть инцидентов), регуляторные изменения (внезапные поправки в законодательство о данных или ИИ) и технологическое отставание (разрыв между уровнем внедрения передовых решений и отраслевым лидером). Снижение этой функции во времени свидетельствует о росте устойчивости системы.

Важно подчеркнуть, что устойчивость цифровой экосистемы должна оцениваться на трёх взаимосвязанных уровнях, каждый из которых обладает собственной структурой рисков и требует специфических метрик.

На организационном уровне (предприятие) акцент делается на внутренних показателях: зрелости ИТ-инфраструктуры, наличии систем резервирования, уровне подготовки персонала и эффективности внутренних процессов реагирования на инциденты.

На экосистемном уровне (цифровая платформа, логистический кластер, промышленный парк) оценивается способность всей сети взаимодействующих субъектов сохранять целостность и функциональность при сбое отдельных участников – например, за счёт редундантных связей, обмена ресурсами или совместного управления рисками.

На региональном уровне (субъект Российской Федерации, в частности – Республика Дагестан) анализ охватывает макропоказатели: доступность цифровой инфраструктуры, качество регуляторной среды, уровень цифровой грамотности населения, объём инвестиций в ИКТ и степень вовлечённости малого и среднего бизнеса в цифровые цепочки создания стоимости.

Сводные данные по ключевым метрикам для каждого уровня представлены в таблице 2, что позволяет не только рассчитать CIDE на разных иерархических уровнях, но и выявить «узкие места», требующие целенаправленного вмешательства. Такой многоуровневый подход обеспечивает комплексное, системное понимание устойчивости и создаёт основу для разработки дифференцированных стратегий цифрового развития, учитывающих как микро-, так и макрофакторы.

Таблица 2 - Уровни анализа и соответствующие метрики устойчивости

Уровень	Ключевые метрики	Пример применения
Организационный	CIDE, уровень автоматизации, доля ИТ-бюджета	Оценка устойчивости ИТ-компаний или университета
Экосистемный	Плотность связей, мультистейкхолдерность, совокупный цифровой актив	Цифровой хаб МСП в Дагестане [7]
Региональный	Индекс цифрового развития региона (Минцифры РФ), доля МСП в цифровой среде	Анализ устойчивости Дагестанской ИТ-экосистемы [16]

По таблице 2 наблюдается переход от микро- к макроуровню требует агрегации данных и учёта сетевых эффектов. Особенно важно – избегать «усреднения», которое маскирует уязвимости отдельных узлов.

В Республике Дагестан реализуются программы поддержки МСП через цифровые платформы (например, «Бизнес-навигатор МСП») и грантовые механизмы [7]. Однако уровень цифровой зрелости МСП остаётся низким: только 23 % используют облачные технологии, менее 10 % – ИИ [16]. Это создаёт угрозу неустойчивости при внешних шоках.

Предложенная модель Композитного индекса устойчивости цифровой экосистемы (CIDE) обладает высокой адаптивностью и может быть эффективно трансформирована под специфику отдельных регионов. Такая адаптация предполагает калибровку весов индикаторов и выбор релевантных метрик с учётом трёх ключевых факторов: уровня развития цифровой инфраструктуры (охват оптоволокном, пропускная способность сетей, наличие дата-центров), доступности квалифицированных кадров (доля ИТ-специалистов в трудовых ресурсах, наличие профильных образовательных программ, миграционные потоки) и масштабов государственной поддержки (объём субсидий, наличие региональных программ цифровизации, развитие цифровых госуслуг).

Такой гибкий подход позволяет не просто констатировать текущее состояние устойчивости, но и использовать CIDE в качестве управленческого инструмента. Региональные власти могут на основе анализа вклада каждого компонента в общий индекс выявлять наиболее уязвимые зоны и разрабатывать целевые интервенции – например,

инвестировать в развитие опорных университетов при дефиците кадров, запускать льготные тарифы на подключение к цифровой инфраструктуре для малого бизнеса или создавать специализированные грантовые программы для стартапов в сфере «зелёных» ИТ.

Таким образом, CIDE перестаёт быть пассивным измерительным прибором и превращается в динамическую основу для стратегического планирования, позволяя регионам – включая такие социально и экономически специфические территории, как Республика Дагестан – выстраивать персонализированные траектории цифрового развития, ориентированные не на универсальные шаблоны, а на реальные внутренние ресурсы и внешние возможности.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают гипотезу о необходимости трансформации классических моделей устойчивости в условиях цифровой экономики знаний. Замена экологического компонента на инновационный оправдана для отраслей с низким прямым экологическим следом, но высокой технологической зависимостью.

Предложенный индекс CIDE демонстрирует высокую гибкость: его можно адаптировать под любую отрасль или регион, варьируя набор индикаторов. Метод энтропии обеспечивает объективность, а метод Ляпунова – динамическую оценку, что особенно важно в условиях цифровой нестабильности [14].

Однако ограничения остаются. Во-первых, сбор данных по индикаторам требует стандартизации. Во-вторых, модель требует валидации на реальных кейсах (например, на дагестанских цифровых хабах). В-третьих, не учтены макроэкономические риски (курсовые колебания, санкции), которые могут нивелировать микроуровневую устойчивость.

Тем не менее, результаты открывают путь к созданию «цифровых паспортов устойчивости» для предприятий – аналога ESG-рейтингов, но с акцентом на знание и технологии. Это особенно актуально для России, где государство активно продвигает концепцию «цифрового суверенитета» [23].

Выводы и заключение

Исследование показало, что устойчивость цифровых экосистем в экономике знаний – это многомерное свойство, зависящее от синергии экономических, социальных, инновационных и институциональных факторов. Классическая модель «трёх кругов» требует модификации, в первую очередь – за счёт введения инновационного измерения и цифровых метрик.

Разработанная модель CIDE, основанная на композитных индикаторах и методе энтропийного взвешивания, позволяет оценивать устойчивость как на уровне отдельного предприятия, так и на уровне региональных экосистем. Это особенно важно для субъектов РФ с развивающейся цифровой инфраструктурой, таких как Республика Дагестан, где устойчивость МСП напрямую связана с доступом к знаниям, технологиям и государственной поддержке.

В перспективе дальнейшее развитие и практическое внедрение Композитного индекса устойчивости цифровой экосистемы (CIDE) требует системных шагов на национальном и региональном уровнях. Прежде всего необходимо стандартизировать набор ключевых индикаторов на федеральном уровне, чтобы обеспечить сопоставимость данных между субъектами Российской Федерации и создать единое методологическое поле для оценки цифровой устойчивости. Такая стандартизация позволит избежать фрагментации подходов и заложит основу для формирования национальной системы мониторинга цифрового развития.

Параллельно следует разработать специализированные программные инструменты, обеспечивающие автоматизированный сбор, нормализацию и расчёт CIDE на основе данных из открытых источников, государственных информационных систем и корпоративных отчётов. Такая платформа не только снизит трудозатраты на анализ, но и обеспечит оперативное обновление индекса в реальном времени, что особенно важно для

своевременного выявления рисков и принятия управленческих решений.

Наконец, для апробации методологии и выявления региональных особенностей необходимо запустить пилотные проекты в субъектах с различным уровнем цифровой зрелости – от высокоразвитых агломераций (например, Татарстан, Москва, Свердловская область) до территорий с ограниченной инфраструктурой и кадровым потенциалом (включая республики Северного Кавказа, такие как Дагестан). Такой дифференцированный подход позволит протестировать гибкость модели CIDE, адаптировать её под разнообразные социально-экономические условия и сформировать репрезентативную базу лучших практик для последующего тиражирования по всей стране.

Таким образом, устойчивое развитие в цифровой экономике знаний – это не просто продолжение старых концепций, а их глубокая трансформация, где центральное место занимает способность системы к обучению, адаптации и генерации знаний. Только такие экосистемы способны выдерживать вызовы XXI века и обеспечивать долгосрочный инновационный рост.

Список источников

1. Маштаков М. М., Брусакова И. А. Модели и методы оценки устойчивости цифровых экосистем в контексте устойчивого развития инновационных процессов // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 385–392.
2. Сазанова С. Л. Роль социально-экономических экосистем в достижении устойчивого экономического роста в условиях цифровизации экономики // Стратегическое планирование и развитие предприятий : материалы XXI Всерос. симп. – Москва: ЦЭМИ РАН, 2020. – С. 752–754.
3. Минаков В. Ф. Знания в инновационной модели цифровой экономики // Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста: тр. 5-й Междунар. науч. конф. – 2019. – С. 237–240.
4. Кудинова С. Г., Шиллерт М. О. Аспекты развития инновационных экосистем в условиях цифровизации экономики // Экономическое развитие России: вызовы и возможности в меняющемся мире : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2023. – С. 116–121.
5. Кузнецова Е. Е. Инновационная экосистема как драйвер цифрового развития экономики производственных систем // Устойчивость экосистем в условиях цифровой нестабильности: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. / под науч. ред. Н. А. Симченко. – Симферополь, 2023. – С. 292–294.
6. Адамович А. Ю. Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития в условиях цифровой экономики // Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития в условиях цифровой экономики : сб. ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2020. – С. 145–147.
7. Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития в условиях цифровой экономики: сб. ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2020.
8. Кондратов Д. В. Цифровая экономика: трансформация государственной экосистемы // Государство, общество, бизнес в условиях цифровизации: сб. науч. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов, 2020. – С. 41–43.
9. Игнатова Т. В., Дудукалов Е. В., Черкасова Т. П. Знаниевые экосистемы и рейтинги цифровизации национальных экономик // Цифровая экосистема экономики: сб. ст. по итогам VII Междунар. науч.-практ. видеоконф. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 391–397.
10. Сердюков Р. Д. Вариативность подходов оценивания уровня развития цифровых экосистем: ключевые направления исследований // Цифровая экосистема экономики : сб. ст. по итогам XI Междунар. науч.-практ. онлайн-конф. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 160–164.
11. Ланская Д. В. Управление и моделирование совокупного актива инновационных экосистем в цифровой экономике знаний // Тенденции экономического развития в XXI веке:

материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию экон. фак. БГУ. – Минск, 2024. – Ч. 2. – С. 303–305.

12. Golub T. P. Information, digitalization and sustainable development // Innovations in technical and natural sciences. – Vienna, 2016. – P. 18–26.

13. Цехла С. Ю., Симченко Н. А. Устойчивость vs неустойчивость экосистем в условиях цифровой нестабильности: концептуальные признаки // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 27–38.

Сведения об авторах

Бисултанова Аза Айндиевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Финансы, кредит и антимонопольное регулирование» Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия

Бутенко Екатерина Дмитриевна, доцент кафедры таможенного дела сервиса и туризма, кандидат экономических наук, Институт Экономики и Управления ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия

Казимагомедова Зарема Алияровна, к.э.н., доцент кафедры финансов и кредита, Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Information about the authors

Bisultanova Aza Ayndievna, Candidate of Economic Sciences, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Finance, Credit and Antimonopoly Regulation, Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia

Butenko Ekaterina Dmitrievna, Associate Professor of the Department of Customs Service and Tourism, Candidate of Economic Sciences, Institute of Economics and Management North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia

Kazimagomedov Zarema Aliyarovna, Candidate of Economics, Associate Professor of Finance and Credit Department, Dagestan State University, Makhachkala, Russia