

Научная статья

УДК 338.24:330.43

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18612>

EDN: <https://elibrary/XQRDVN>



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ВЕРИФИКАЦИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Н.А. Благой , Н.Д. Дмитриев , К.А. Алькин 

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

 nikita_1915@bk.ru

Аннотация. Исследование представляет оценку цифровой зрелости национальной экономики на основе теории нечетких множеств и объективного взвешивания признаков. Из сопоставимой панели показателей информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) после нормирования рядов с винзоризацией 1–99-го перцентилей контролем направленности признаков и унификацией единиц измерения формируется интегральный индекс зрелости с последующей стратификацией стран по уровням зрелости. В исходный набор входят распространность фиксированного широкополосного доступа в Интернет для домохозяйств и бизнеса, число активных мобильных подключений на душу населения, доля пользователей Интернета, плотность защищенных интернет-серверов, удельный вес импорта товаров ИКТ в товарном импорте и удельный вес экспорта услуг ИКТ в экспорте услуг. При наличии добавляются позиции по программному и телекоммуникационному продуктам с раздельной учетной логикой для товарных и сервисных потоков. Нормированные признаки переводятся в лингвистические переменные; задаются треугольные и трапециевидные функции принадлежности для градаций «низкий», «средний», «высокий» с открытой параметризацией вершин и плато, пригодной для сценарных сдвигов. Далее применяются фаззификация, взвешенное агрегирование и дефаззификация по методу центра тяжести с проверкой устойчивости к изменению форм принадлежности и к альтернативным схемам агрегации. Весовые коэффициенты оцениваются энтропийным методом и методом главных компонент, согласуются и применяются при агрегировании для снижения влияния мультиколлинеарности; для метода главных компонент сохраняется интерпретация вкладов главных компонент и нагрузок признаков. Итоговый индекс используется для ранжирования экономик, расчета вероятностных долей принадлежности к уровням зрелости, картографирования и кластеризации. Внешняя проверка проводится через сопоставление с индексом человеческого развития с применением корреляционно-регрессионного анализа; устойчивость подтверждается бутстреп-оценками и робастными стандартными ошибками. Алгоритм реализован в среде Python с открытыми параметрами нормализации и функциями принадлежности, что гарантирует воспроизводимость и масштабируемость расчетов. Полученные оценки служат обоснованием приоритизации инфраструктуры, кибербезопасности и развития цифровых компетенций для стратегического планирования, мониторинга прогресса и международного бенчмаркинга.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровая зрелость, макроэкономические эффекты, цифровая экономика, нечеткие множества, энтропийный метод, метод главных компонент

Благодарности: Исследование выполнено за счет субсидии из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ (Соглашение №075-15-2025-532).

Для цитирования: Благой Н.А., Дмитриев Н.Д., Алькин К.А. (2025) Моделирование цифровой зрелости национальной экономики и верификация макроэкономических эффектов технологической трансформации. *Π-Economy*, 18 (6), 230–246. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18612>



MODELING THE DIGITAL MATURITY OF NATIONAL ECONOMY AND VERIFICATION OF THE MACROECONOMIC EFFECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION

N.A. Blagoi , N.D. Dmitriev , K.A. Alkin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

nikita_1915@bk.ru

Abstract. The study presents an assessment of the digital maturity of national economy grounded in fuzzy set theory and objective feature weighting. From a harmonized panel of information and communication technology (ICT) indicators – after series normalization with 1st–99th percentile winsorization, monotonicity control and unit harmonization – a composite maturity index is constructed, followed by stratification of countries by maturity levels. The baseline set includes the prevalence of fixed broadband access for households and businesses, the number of active mobile subscriptions per capita, the share of Internet users, the density of secure Internet servers, the share of ICT goods in total merchandise imports and the share of ICT services in services exports. Where available, positions for software and telecommunications products are added with separate accounting logic for goods and service flows. Normalized indicators are transformed into linguistic variables; triangular and trapezoidal membership functions are specified for the “low”, “medium” and “high” gradations with openly parameterized vertices and plateaus suitable for scenario adjustments. The pipeline then performs fuzzification, weighted aggregation and defuzzification via the centroid method, with robustness checks against alternative membership shapes and aggregation schemes. Indicator weights are estimated using the entropy method and principal component analysis, reconciled and applied at aggregation to mitigate multicollinearity; principal component analysis loadings and component contributions are retained for interpretation. The resulting index supports ranking of economies, computation of probabilistic membership shares across maturity tiers, mapping, and clustering. External validation is carried out against the Human Development Index using correlation-regression analysis; robustness is confirmed by bootstrap estimates and heteroskedasticity-robust standard errors. The algorithm is implemented in Python with openly specified normalization settings and membership functions, which ensures reproducibility and scalability. The resulting estimates substantiate the prioritization of infrastructure, cybersecurity and digital-skills development for strategic planning, progress monitoring and international benchmarking.

Keywords: digital transformation, digital maturity, macroeconomic effects, digital economy, fuzzy sets, entropy method, principal component analysis

Acknowledgements: The study was carried out using a subsidy from the federal budget to higher education institutions for the implementation of activities aimed at supporting student scientific communities (Agreement No. 075-15-2025-532).

Citation: Blagoi N.A., Dmitriev N.D., Alkin K.A. (2025) Modeling the digital maturity of national economy and verification of the macroeconomic effects of digital transformation. *π-Economy*, 18 (6), 230–246. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18612>

Введение

Каждое государство сталкивается с необходимостью определять текущую степень цифровой зрелости в рамках цифровой трансформации для обеспечения эффективного внедрения инновационных решений и поддержки экономического роста. В условиях цифровой трансформации возрастаёт потребность в количественной оценке степени сформированности цифровой среды на уровне отдельных стран. Такая оценка требуется для сопоставления траекторий цифрового

развития, выявления структурных ограничений и обоснования приоритетов государственной политики. В научной литературе для обозначения данной характеристики используется категория цифровой зрелости национальной экономики, содержание которой уточняется в исследовании.

Применение методов нечеткой логики и расчет показателей, таких как уровень интернет-подключений, кибербезопасность серверной инфраструктуры и внешнеэкономическая цифровая активность, формируют целостную картину цифровой зрелости национальной экономики. Результаты анализа создают базис для внедрения игровых технологий в экономическую деятельность и открывают возможности управления процессами и стимулирования поведения сотрудников.

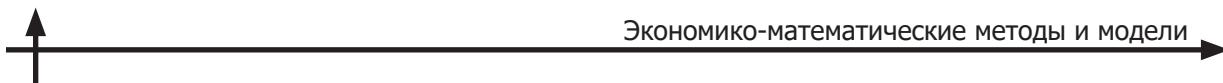
Результатом классификации является стратификация стран по уровням цифровой зрелости – от низкого до высокого. Полученные оценки формируют основу методики прикладного анализа, ориентированной на выбор и настройку инструментов цифровой трансформации в экономической деятельности компаний изучаемых стран. Разработанная методика позволяет соотносить зрелость цифровой среды с типом и функциональной сложностью игровых механизмов, формируя базис для принятия решений в рамках стратегий цифровой трансформации на уровне отраслей и национальной экономики. В перспективе методика может быть расширена за счет включения сценарных симуляторов, учитывающих специфику бизнес-процессов и институциональных условий.

Литературный обзор

Актуальность оценки цифровой зрелости стран связана с необходимостью сопоставления уровня развития цифровой инфраструктуры, человеческого капитала и цифровой экономики, а также с обоснованием приоритетов государственной политики и задач международного бенчмаркинга. В работах Т.В. Миролюбовой и Р.С. Николаева [1], И.С. Хвана и С.С. Халиковой [2], а также А.В. Бабкиным, П.А. Михайловым, Е.В. Шкарупетой и Л. Чэн [3] подчеркивается возрастающая роль интегрального индекса цифровой зрелости (Digital Maturity Index, DMI) как инструмента стратегического анализа, мониторинга цифровой трансформации и увязки технологических изменений с целями социально-экономического развития. Исследования фиксируют переход от фрагментарных показателей цифровизации к комплексным оценкам, ориентированным на сопоставимость и воспроизводимость результатов.

Измерение цифровой зрелости стран и публичного сектора опирается на индикаторный подход и процедуры обеспечения сопоставимости данных. Обзор международных практик и структур показателей представлен в работе И.Ю. Мерзлова [4], тогда как классификация методов оценки цифровой зрелости систематизирована Л.В. Шабалтиной [5]. Региональные различия и эмпирические апробации показателей цифровой зрелости анализируются в исследованиях В.В. Строева и С.В. Сидоренко [6], а также Л.Г. Батраковой [7]. Информационно-аналитическую базу для отбора индикаторов и межтерриториальных сопоставлений дополняют материалы А.Э. Калининой и Е.А. Петровой [8].

Методология, связанная с теорией нечетких множеств, представлена работами, где лингвистические переменные и функции принадлежности применяются для интегральных оценок: А.О. Недосекин и соавторы демонстрируют построение нечетких моделей для социально-экономических индикаторов и показателей устойчивости субъектов [9, 10]; Е.М. Дебердиева и С.В. Фролова рассматривают эффективность интеграционных структур [11]; Н.А. Еремин и К.Р. Черепов предлагают модель оценки цифровизации компаний [12]; на региональном уровне подход реализован у А.В. Козлова, А.Б. Тесли и А.А. Иващенко [13], а для промышленных предприятий – у А.В. Веретехина [14]; сочетание нечеткой логики и машинного обучения в промышленной аналитике представлено у Л.А. Серкова [15]. Данные результаты подтверждают уместность фазификации нормированных индикаторов, взвешенного агрегирования и дефазификации при построении DMI.



Для объективного задания весов в композитных показателях используются две линии: энтропийные методы [16–19] и статистические процедуры извлечения латентных факторов. К первой линии относятся работы А.С. Птушкина [16], Р.С. Кульшина и А.А. Сидорова [17], Б.Д. Матризаева [18], Д.С. Соловьева [19]. Ко второй линии относятся исследования по методу главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) и кластерному анализу: С.С. Шишулин демонстрирует снижение размерности и группировку регионов на базе PCA [20]; С.В. Трещина и Н.В. Суворов сопоставляют прогнозные и фактические макропоказатели и показывают потенциал компонентного разложения [21]; Р.Б. Шестаков и Е.И. Ловчикова используют кластеризацию для идентификации однородных групп регионов и интерпретации вкладов признаков [22]. Эта связка «нормирование → фазификация → взвешивание → агрегирование → дефазификация» задает устойчивую схему построения DMI.

Институциональный контекст цифровой трансформации и платформенные механизмы координации экономических агентов подробно рассмотрены в работах Д.Г. Родионова, О.И. Лавровой и Н.Д. Дмитриева по цифровым платформам Союзного Государства: институциональные механизмы и пространственная координация [23], а также технологическая и организационная архитектура промышленной трансформации [24]. Эти источники фиксируют практическую плоскость применения DMI для приоритизации инфраструктуры, настройки платформенных решений и управления организационными изменениями. Верификационная часть опирается на ряд работ по корреляционно-регрессионному анализу социально-экономических зависимостей: К.А. Шлющенковой [25], У.У. Умарова, Г.Ж. Пошаходжаевой и А.А. Хайтметова [26], Н.П. Горидько [27], Н.Н. Яроменко, Е.Д. Бубенок и Е.А. Хахалевой [28], М.С. Вареник [29], Ю.А. Тимофеевой [30], М.К. Беданкова, Е.В. Моргунова и С.В. Чернявского [31]. Совокупно это подтверждает корректность логики исследования от отбора сопоставимых показателей информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и объективного взвешивания до построения интегрального DMI и проверки его связей с макроиндикаторами.

Стратегическое направление перехода от экономической устойчивости к опережающему развитию обобщено в коллективной монографии под редакцией В.В. Сорокожердьева [32]. Суммарно формируется комплексная методическая база, согласованная с целями исследования: от отбора сопоставимых ИКТ-показателей и их направленного нормирования с едиными правилами обработки пропусков до объективного взвешивания признаков энтропийными мерами и PCA. Далее выполняются фазификация, взвешенное агрегирование и дефазификация в рамках нечеткой логики с последующей стратификацией и кластеризацией стран, а также оценкой устойчивости результатов на чувствительность к выбору весов и параметров функций принадлежности. Завершающий шаг включает внешнюю валидацию по макроиндикаторам на основе корреляционных и регрессионных моделей, что обеспечивает проверяемость, воспроизводимость и прикладную интерпретируемость интегрального DMI.

Цель исследования – разработать и эмпирически подтвердить воспроизводимую методику оценки цифровой зрелости национальной экономики на основе теории нечетких множеств и объективного взвешивания признаков.

Задачи исследования:

1. Построить интегральный DMI из сопоставимой панели ИКТ-показателей с нормированием, фазификацией, агрегированием на весах (энтропия и PCA) и дефазификацией, получив ранжирование и картографирование стран.
2. Выполнить стратификацию и кластеризацию стран по уровням зрелости, выделив типовые профили и кратко их интерпретировав.
3. Провести внешнюю верификацию DMI по связи с индексом человеческого развития (корреляция и линейная регрессия) и на основе результатов сформулировать прикладные рекомендации по приоритизации инфраструктуры, кибербезопасности и цифровых компетенций.

Объектом исследования выступает национальная экономика, рассматриваемая как макроэкономическая система, в рамках которой формируется цифровая зрелость и проявляются процессы цифровой трансформации.

Предметом исследования являются макроэкономические отношения, отражающие связь цифровой зрелости национальной экономики, измеряемой интегральным DMI на основе ИКТ-показателей и нечеткой логики, с уровнем человеческого развития.

Методы и материалы

Исследование основано на страновых рядах, отражающих развитие ИКТ и цифровой экономики за последний доступный период наблюдений. Сформирована сопоставимая панель стран, включающая унификацию исходных единиц измерения, масштабирование показателей в интервал $[0-1]$ с учетом направленности индикаторов и локальное восстановление либо исключение пропусков на уровне региональных и доходных групп. Методологическая база строится на применении теории нечетких множеств, обеспечивающей работу с неопределенными и частично совместимыми данными. Для каждого показателя задаются лингвистические переменные и функции принадлежности (треугольные и трапециевидные), после чего выполняются фазификация, взвешенное агрегирование и дефазификация по методу центра тяжести. Итогом является интегральный DMI, выраженный в единой шкале.

Весовые коэффициенты определяются двумя независимыми процедурами: энтропийным методом, отражающим информативность признаков, и PCA, характеризующим вклад переменных в общую дисперсию. Полученные веса согласуются и применяются при агрегировании для снижения эффекта мультиколлинеарности. Для проверки и интерпретации результатов проводятся регрессионный и корреляционный анализ, включая построение линейных моделей с оценкой стандартных ошибок, тесты на гетероскедастичность и мультиколлинеарность, а также вычисление ранговых корреляций Спирмена. Дополнительно выполняется анализ чувствительности к параметрам весов и форме функций принадлежности. Визуализация результатов включает карты цифровой зрелости, рейтинги и диаграммы рассеяния. Все вычисления реализованы в среде Python с фиксированными параметрами нормализации и воспроизводимыми процедурами запуска, что обеспечивает открытость, повторяемость и масштабируемость исследования.

Результаты и обсуждение

В рамках настоящего исследования цифровая зрелость национальной экономики раскрывается через четыре взаимосвязанных измерения: телекоммуникационную инфраструктуру, цифровые компетенции, кибербезопасность и интеграцию в международные рынки ИКТ. Выбор указанного набора обусловлен логикой воспроизводственного цикла цифровой трансформации и требованиями сопоставимости межстратоновых данных.

1. Телекоммуникационная инфраструктура формирует техническую основу цифровой среды и определяет доступность высокоскоростных сетей для домохозяйств, бизнеса и государственного сектора. При недостаточном развитии инфраструктуры использование цифровых технологий носит фрагментарный характер и не поддается масштабированию.

2. Цифровые компетенции отражают способность населения и организаций применять цифровые сервисы в экономической и социальной деятельности, участвовать в электронных формах взаимодействия и формировать устойчивый спрос на цифровые продукты. Данный компонент связывает технологический потенциал с характеристиками человеческого капитала и практиками производства.

3. Кибербезопасность характеризует уровень защищенности цифровой инфраструктуры и степень доверия к электронным транзакциям, платформам и сервисам. Низкая защищенность



ограничивает экономические эффекты цифровизации и сдерживает развитие электронной коммерции, финансовых технологий и цифровых государственных услуг.

4. Интеграция в международные рынки ИКТ отражает степень включенности национальной экономики в глобальные цепочки создания цифровой добавленной стоимости. Экспорт и импорт ИКТ-товаров и услуг фиксируют доступ к современным технологиям и способность формировать конкурентоспособные цифровые продукты.

Совместное рассмотрение указанных измерений позволяет охарактеризовать цифровую зрелость как сбалансированное состояние цифровой среды, в котором инфраструктурные, кадровые, институциональные и внешнеэкономические элементы взаимно согласованы. Исключение любого компонента искажает итоговую оценку и снижает аналитическую интерпретируемость интегрального DMI. Комплексное развитие указанных элементов связано с ускорением диффузии инноваций, повышением эффективности взаимодействия экономических субъектов и формированием долгосрочных траекторий экономического роста.

Для агрегирования разношкольных данных применена нечеткая логическая модель, обеспечивающая переход от количественных показателей к лингвистическим термам «низкий», «средний», «высокий» и позволяющая формировать итоговую оценку зрелости по единой шкале.

Отобранные показатели:

X1. Абоненты фиксированного широкополосного доступа в Интернет (на 100 человек). Показатель характеризует инфраструктурную зрелость стационарных сетей и потенциал потребления высокоскоростных сервисов, включая облачные приложения, видеоконференции и потоковое видео. Рост плотности фиксированных подключений отражает развитие оптоволоконных магистралей и локальных сетей доступа, способствуя сокращению цифрового разрыва между регионами. В интегральной модели данный параметр обозначает доступность емкостной инфраструктуры и устойчивость коммуникационной экосистемы.

X2. Абоненты мобильной сотовой связи (на 100 человек). Показатель оценивает мобильную составляющую цифрового доступа и гибкость использования цифровых сервисов вне стационарной среды. Значения свыше 100 демонстрируют насыщение рынка и множественность подключений на одного пользователя. В таких условиях решающими становятся параметры качества сети и структуры трафика. Высокая плотность мобильных подключений усиливает цифровую инклюзию, снижает барьеры входа для МСП и поддерживает распространение цифровых сервисов в отдаленных районах.

X3. Пользователи Интернета (% населения). Индикатор отражает уровень массовой цифровой инклюзии и вовлеченности населения в сетевые коммуникации, электронную коммерцию, образование и государственные услуги. Повышение доли пользователей расширяет внутренний рынок для цифровых платформ, ускоряет обмен информацией и знаниями, способствует росту производительности. При приближении к насыщению ключевыми становятся качество соединения, частота и интенсивность использования цифровых сервисов, что влияет на эффективность цифровой трансформации.

X4. Безопасные интернет-серверы (на один миллион человек). Показатель служит индикатором киберустойчивости и технологической готовности экономики к безопасным электронным транзакциям, онлайн-платежам и обмену конфиденциальными данными. Рост плотности таких серверов свидетельствует о развитии электронной коммерции, финансовых технологий и зрелости инфраструктуры защиты данных. В модели цифровой зрелости данный параметр описывает уровень доверия и надежности цифровой среды.

X5. Импорт товаров ИКТ (% от общего импорта). Индикатор характеризует технологическую открытость и обновляемость аппаратной базы. Повышенные значения отражают модернизацию оборудования и внедрение инноваций через внешние поставки. При интерпретации учитывается структура импорта: потребительская электроника усиливает оснащенность домохозяйств, а



поставки серверного и сетевого оборудования способствуют модернизации бизнеса и государственного сектора. В интегральной оценке данный показатель фиксирует доступность современной техники и скорость технологического обновления.

Х6. Экспорт услуг ИКТ (в миллионах долларов США). Индикатор отражает внешнюю конкурентоспособность цифровой экономики и способность производить программные продукты, аутсорсинговые и телекоммуникационные услуги. Высокие значения свидетельствуют о развитии человеческого капитала и инновационной активности, а также о способности страны формировать добавленную стоимость на глобальных рынках. В итоговом DMI данный параметр усиливает вклад знаний, креативности и экспортной специализации. На основе нормированных показателей и нечеткого агрегирования построен единый DMI, отражающий относительное положение стран по шкале от низкого до высокого уровня цифровой зрелости.

Стратификация стран выявила различия по профилям развития: часть экономик характеризуется сбалансированной инфраструктурой и высоким экспортным потенциалом, другие демонстрируют избыточную зависимость от импорта технологий или ограниченность в кибербезопасности. Построенные карты и диаграммы рассеяния визуализируют пространственную неоднородность цифрового развития и позволяют выделить группы с общими стратегическими вызовами и направлениями роста.

На начальном этапе исследования формируется сводная база показателей, служащая эмпирической основой для последующего расчета DMI. В нее включаются данные, характеризующие доступность фиксированных и мобильных сетей, интенсивность интернет-проникновения, активность пользователей, динамику внешнеэкономических потоков ИКТ-товаров и услуг, а также уровень защищенности цифровой инфраструктуры. Набор индикаторов обеспечивает целостное представление о состоянии цифрового пространства стран и позволяет выделять типовые модели развития – от инфраструктурно насыщенных до зависимых от импорта технологий. Обобщенные сведения для первой выборки стран приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для первых десяти стран выборки
Table 1. Initial data for the first ten countries of the sampling

Страна	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Российская Федерация	24,63	168,98	92,2	23603,59	9,99	2883
США	38,05	110,16	93,1	187747,20	12,98	70630
Китай	44,72	124,87	77,5	1508,37	22,14	58096
Германия	45,38	125,22	92,5	139985,02	7,48	48339
Япония	38,54	167,52	87,0	31701,71	11,27	11724
Индия	2,35	80,64	55,9	966,08	7,64	162588
Великобритания	41,04	120,81	96,3	47452,83	7,26	52964
Франция	48,61	118,84	86,8	52082,58	5,35	28083
Канада	43,17	91,23	94,0	42549,88	6,75	20568
Бразилия	22,91	98,89	84,2	5628,66	6,13	5783

Источник: разработано авторами на основе данных¹

Анализ исходных данных выявляет несколько устойчивых профилей цифрового развития:
– инфраструктурно развитые экономики (Германия, Великобритания, США, Франция, Канада) демонстрируют высокий фиксированный доступ, значительную плотность защищенных серверов и мощный экспорт ИКТ-услуг;

¹ The World Bank. Sustainable Development Goals. [online] Available at: <https://data.worldbank.org> [Accessed 15.11.2025].



- сбалансированные модели (Китай, Япония) сочетают развитую телекоммуникационную инфраструктуру с высоким уровнем промышленной цифровизации и умеренной сервисной ориентацией;
- мобильные экономики (Бразилия, частично Россия) опираются на широкое использование мобильной связи при ограниченном фиксированном подключении, что сдерживает экспортные возможности;
- аутсорсинговые центры (Индия) демонстрируют минимальную обеспеченность фиксированными сетями при рекордных объемах экспорта ИКТ-услуг, указывая на зависимость от человеческого капитала и низких издержек.

Таким образом, высокая плотность фиксированных сетей и развитая серверная инфраструктура коррелируют с сильным экспортом цифровых услуг, тогда как альтернативные конфигурации отражают различные стратегии цифровизации — от технологического импорта до специализации на интеллектуальных и программных продуктах. На втором этапе анализа проводится построение взвешенной системы показателей, предназначенной для расчета интегрального DMI. Выбор индикаторов и методов определения их значимости направлен на получение сбалансированной оценки, учитывющей как вариативность исходных данных, так и взаимозависимости между ними. В основу положено сочетание энтропийного метода, отражающего информационную насыщенность признаков, и PCA, обеспечивающего учет структурных связей. Использование комбинированного подхода позволило устраниТЬ перекосы в распределении весов и сформировать устойчивые коэффициенты, применимые к разнородным экономикам. Полученные значения интегрированы в сводную табл. 2.

Таблица 2. Методика и итоговые веса цифровых показателей

Table 2. Methodology and final weights of digital indicators

Показатель	Энтропия (%)	PCA (%)	Среднее (норм.)	Итоговый вес
X1	6,31	25,09	0,157	0,1570
X2	16,98	20,53	0,188	0,1875
X3	3,09	32,85	0,180	0,1797
X4	15,38	4,98	0,102	0,1018
X5	38,77	2,45	0,206	0,2061
X6	17,02	16,56	0,168	0,1679

Источник: разработано авторами

После получения нормированных данных и расчета весов для каждого показателя проводится агрегирование значений в интегральный DMI, отражающий относительное положение стран на шкале от 0 до 1. Итоговые значения интерпретируются через систему классификационных уровней цифрового развития, включающую пять градаций: низкий, ниже среднего, средний, выше среднего и высокий уровни зрелости. Они представлены в табл. 3, демонстрирующей абсолютные DMI и вероятностное распределение стран по уровням цифрового развития.

На заключительном этапе выполняется распределение стран по уровням цифрового развития в соответствии с интегральными DMI, рассчитанными на предыдущем шаге (табл. 4). Каждому диапазону значений присваивается качественная характеристика, описывающая степень сформированности цифровой среды — от слабо выраженной инфраструктуры и низкой инновационной активности до устойчивых моделей цифровой экономики. Пороговые граници определены с учетом плавных переходов между уровнями в соответствии с логикой нечеткой классификации и отражают постепенный характер цифровой трансформации.

Таблица 3. Итоговые значения DMI и уровни цифровой зрелости
Table 3. Final DMI values and digital maturity levels

Страна	Итоговый DMI	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий
Российская Федерация	0,6781	—	—	—	0,98	0,02
США	0,7714	—	—	—	0,47	0,53
Китай	0,6850	—	—	—	0,89	0,11
Германия	0,7374	—	—	—	0,57	0,43
Япония	0,7900	—	—	—	0,28	0,72
Индия	0,4777	—	0,13	0,87	—	—
Великобритания	0,7365	—	—	—	0,58	0,42
Франция	0,6799	—	—	—	0,91	0,09
Канада	0,7036	—	—	—	0,78	0,22
Бразилия	0,5385	—	—	0,76	0,24	—

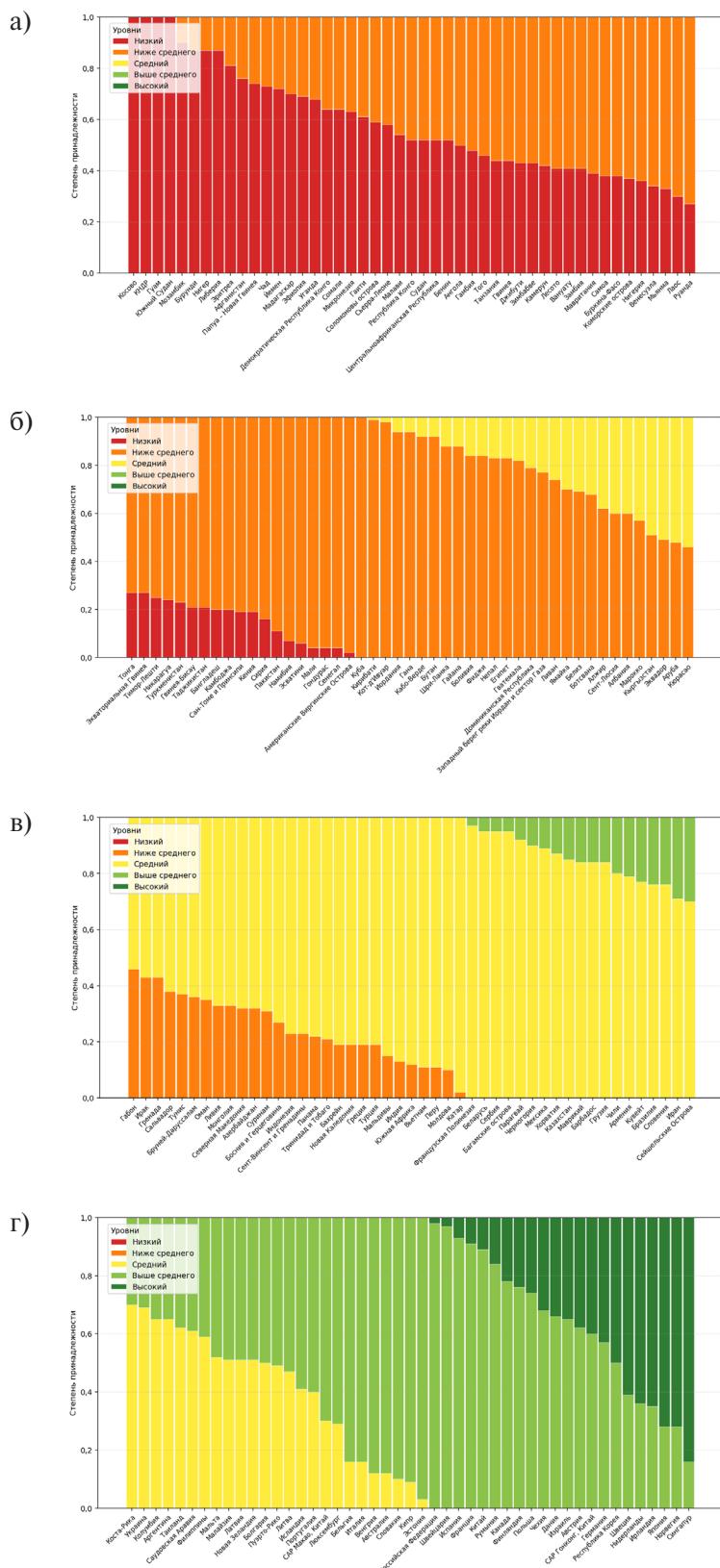
Источник: разработано авторами

Таблица 4. Классификация уровня цифровой зрелости страны
Table 4. Classification of a country's digital maturity level

Множество значений	Уровень	Описание
0,000–0,333	Низкий	Страна имеет невысокие показатели экономического развития, недостаточный доступ к Интернету, низкие расходы на цифровую экономику, малое число электронных коммерческих сделок, ИКТ-патентов и цифровых транзакций
0,167–0,500	Ниже среднего	Показатели ниже средних; ограниченное интернет-покрытие, невысокие расходы и низкая активность в цифровом секторе
0,333–0,667	Средний	Средние значения по развитию, доступу и затратам; умеренные показатели электронной торговли и инновационной активности
0,500–0,833	Выше среднего	Показатели выше средних; расширенный интернет-доступ, рост расходов на цифровую экономику и увеличенные объемы электронных коммерческих и цифровых транзакций
0,667–1,000	Высокий	Высокие значения по всем параметрам: интернет-доступ, инновации, электронные коммерческие и цифровые платежи; зрелая цифровая инфраструктура и высокий уровень технологической активности.

Источник: разработано авторами

Рассчитанные значения интегрального DMI были визуализированы с использованием многомерного анализа и кластеризации, что позволило выделить группы стран с различными характеристиками цифрового развития (рис. 1). В совокупности данные по распространению Интернета, плотности защищенных серверов, импорту и экспорту ИКТ-продуктов, а также насыщенности фиксированной и мобильной инфраструктуры позволили выстроить единую шкалу цифрового прогресса. В нижний диапазон попали государства с низкой степенью сетевой включенности, ограниченными возможностями широкополосного доступа в Интернет и минимальной долей ИКТ в структуре внешнеэкономической деятельности. Вторая группа отражает страны, где цифровизация находится на ранних стадиях: инфраструктура развивается, но объемы экспорта и кибербезопасность остаются ограниченными. Средний и выше среднего уровни соответствуют экономическим системам, в которых цифровые технологии интегрированы в большинство отраслей, присутствует устойчивый рост онлайн-сервисов, развиты сеть



Источник: разработано авторами

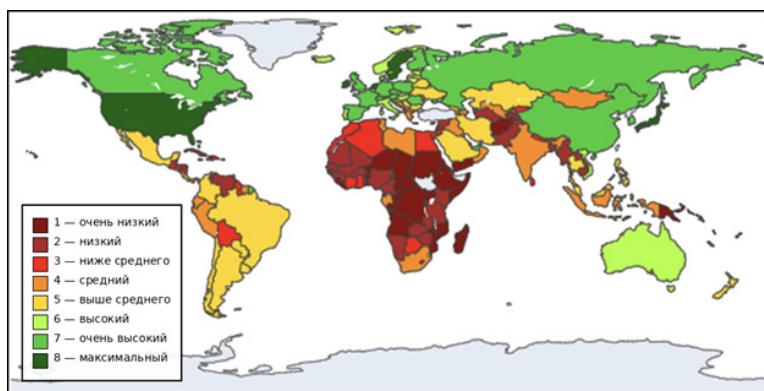
Рис. 1. Классификация стран по уровням цифровой зрелости:

а) низкий; б) ниже среднего; в) средний и выше среднего; г) высокий

Fig. 1. Classification of countries by digital maturity levels: a) low level; b) below-average; c) average and above-average; d) high level

защищенных серверов и телекоммуникационные каналы. Высокая зрелость характерна для стран с доминированием цифровой экономики, масштабными инвестициями в ИКТ и развитой системой киберзащиты, обеспечивающей доверие к онлайн-операциям. Результаты кластеризации подтверждают наличие пяти блоков цифровой зрелости, различающихся по инфраструктурным и экономическим признакам.

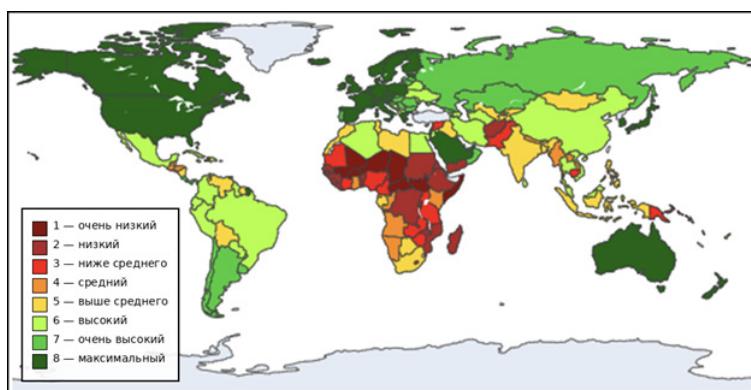
После вычисления интегрального DMI следующим этапом стала оценка его связи с индексом человеческого развития (HDI). HDI формируется на основе трех групп показателей: здоровья, образования и уровня доходов населения, для которых задаются минимальные и максимальные пороговые значения. Для исходного показателя (ожидалася продолжительность жизни, ожидаемая и средняя продолжительность обучения, валовый национальный доход на душу населения в паритете покупательной способности) строят нормированный субиндекс в интервале от 0 до 1 с помощью линейной шкалы, а доход предварительно логарифмируют. Затем по трем группам формируют индексы измерений и агрегируют их через геометрическое среднее, получая итоговое значение HDI. Визуализация показала, что регионы с высокой цифровой зрелостью, как правило, характеризуются также и высоким уровнем человеческого развития, что подтверждает взаимное усиление технологических и социальных факторов (рис. 2 и 3).



Источник: разработано авторами

Рис. 2. Карта мира по DMI

Fig. 2. World map by DMI



Источник: разработано авторами

Рис. 3. Карта мира по HDI

Fig. 3. World map by HDI



Объединение этих показателей позволило выявить взаимовлияние технологического прогресса и социальных параметров, отражающих качество жизни, доступ к образованию и уровень доходов. Для анализа были объединены наборы данных DMI и HDI, выполнено ранжирование стран и построены картографические распределения, демонстрирующие пространственные различия цифровой и человеческой зрелости.

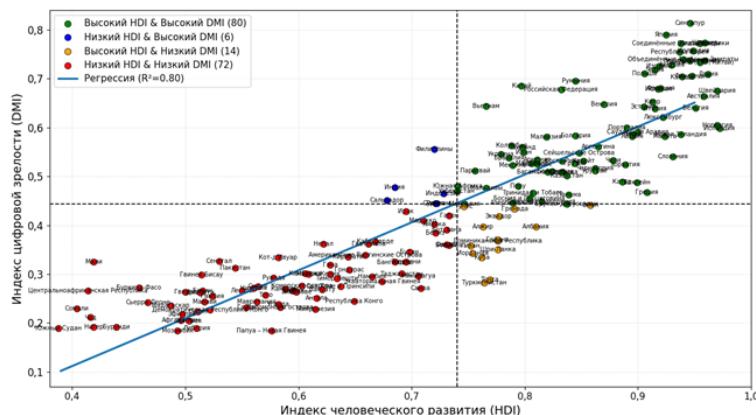
После объединения данных DMI и HDI была проведена оценка линейной зависимости между ними. Рассчитанный коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,8892$ свидетельствует о сильной положительной взаимосвязи между уровнем цифрового развития и человеческого потенциала. Уровень значимости $p < 0,001$ подтверждает статистическую устойчивость результата при объеме выборки 173 страны. Так, более развитая цифровая инфраструктура и компетенции населения прямо соотносятся с повышением уровня жизни, образованности и социального благополучия. На заключительном этапе анализа с применением метода наименьших квадратов была построена простая линейная регрессионная модель, описывающая зависимость между DMI и HDI. Получена зависимость:

$$HDI = 0,3647 + 0,8382 \times DMI. \quad (1)$$

Свободный член 0,3647 определяет точку пересечения линии регрессии с осью HDI при нулевом уровне цифровой зрелости, а коэффициент при DMI (0,8382) отражает, насколько увеличивается HDI при росте цифровой зрелости на одну единицу. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,7907$) показывает, что около 79% вариации HDI объясняются изменениями цифровой зрелости, подтверждая наличие сильной зависимости между технологическим развитием и качеством человеческого капитала. Аналитическая и визуальная интерпретация результатов представлена на рис. 4, где линия регрессии демонстрирует положительный тренд, а плотное сгущение точек вдоль нее подтверждает устойчивость взаимосвязи.

Заключение

Проведенное исследование формирует интегральный DMI национальной экономики на основе сопоставимой системы ИКТ-показателей и подтверждает его статистическую состоятельность. Полученный DMI демонстрирует сильную связь с HDI, а регрессионный анализ фиксирует весомый вклад цифровых факторов в объяснение вариации HDI. Кластеризация с картографической визуализацией позволила выделить четыре устойчивых профиля цифрового



Источник: разработано авторами

Рис. 4. Визуализация модели регрессии индексов DMI и HDI по странам
Fig. 4. Visualization of the regression model between DMI and HDI across countries

развития, отражающие различия в инфраструктурных, экономических и институциональных характеристиках. Итоги исследования подтверждают воспроизводимость предложенной методики и создают аналитическую основу для ее практического применения.

Исследование позволило интегрировать показатели проникновения Интернета, уровня защищенности цифровой инфраструктуры, масштабов импорта и экспорта ИКТ-товаров и услуг, а также плотности фиксированной и мобильной связи в единый индекс – DMI. Расчет коэффициента корреляции Пирсона ($r = 0,8892$) подтвердил наличие сильной положительной зависимости между цифровой зрелостью и уровнем человеческого развития.

Линейная регрессионная модель показала, что около 79% вариации HDI объясняются изменениями DMI, что указывает на значительное влияние цифровой трансформации на социальное благополучие. Кластеризация и картографическая визуализация позволили выделить четыре типовые группы стран, различающиеся по сочетанию инфраструктурных, социальных и экономических характеристик, и сформировали основу для дифференцированных стратегий цифрового развития. Результаты демонстрируют, что цифровая зрелость выступает системным драйвером роста человеческого капитала, а взаимосвязь технологических и социальных параметров усиливает устойчивость национальной экономики.

В ходе исследования получены следующие результаты:

1) Построен интегральный DMI на основе сопоставимой панели ИКТ-показателей. Сформирована и эмпирически обоснована воспроизводимая методика количественной оценки с процедурами нормирования и контроля направленности признаков, также выполнены фазификация нормированных значений (заданы функции принадлежности) и агрегирование показателей с использованием объективных весов, рассчитанных энтропийным методом и РСА, итогом было получено сопоставимое ранжирование (и основа для картографирования) стран.

2) Выполнены стратификация и кластеризация стран по уровням цифровой зрелости, что позволило выделить типовые профили цифровой зрелости и дать им краткую аналитическую интерпретацию.

3) Проведена внешняя верификация DMI по связи с HDI с использованием корреляционного и регрессионного анализа, что подтвердило статистическую состоятельность разработанного индекса. Полученные результаты послужили основой для формулирования прикладных рекомендаций по приоритизации развития цифровой инфраструктуры, укреплению кибербезопасности и расширению цифровых компетенций.

Таким образом, разработанная воспроизводимая методика оценки цифровой зрелости национальной экономики на основе энтропийного подхода, РСА и нечеткой логики обеспечивает количественную интерпретацию процессов цифровизации, допускает сопоставление национальных экономик и может использоваться для стратегического планирования и мониторинга цифровой трансформации.

Направления дальнейших исследований

Развитие предложенной методики может быть связано с расширением системы индикаторов за счет показателей НИОКР, патентной активности, инвестиций в цифровые навыки и параметров использования технологий искусственного интеллекта. Перспективным направлением является переход к панельному анализу, позволяющему оценивать динамику цифровой зрелости и человеческого развития во времени и выявлять отложенные эффекты цифровых инвестиций. Методика также может быть адаптирована к региональному, отраслевому и корпоративному уровням для учета структурной специфики экономических систем и различий институциональной среды. Дополнительный потенциал связан с применением сценарного моделирования и инструментов имитации регуляторных решений, что создает основу для анализа возможных последствий цифровой политики и оценки альтернативных траекторий цифровой трансформации.



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миролюбова Т.В., Николаев Р.С. (2024) Цифровая экономика и цифровая трансформация региональной экономики: измерение и особенности. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 19 (3), 340–354. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-3-340-354>
2. Хван И.С., Халикова С.С. (2021) Цифровая зрелость территории: обзор подходов к определению и оценке. *Ученые заметки ТОГУ*, 12 (2), 302–306.
3. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Чэнь Л. (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>
4. Мерзлов И.Ю. (2022) Методы оценки цифровой зрелости: обзор международной практики. *Креативная экономика*, 16 (2), 503–520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.16.2.114163>
5. Шабалтина Л.В. (2023) Классификация методов оценки цифровой зрелости. *Экономика, предпринимательство и право*, 13 (10), 4257–4280. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.13.10.119266>
6. Строев В.В., Сидоренко С.В. (2024) Анализ цифровой зрелости регионов Российской Федерации. *Вестник университета*, 5, 5–14. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2024-5-5-14>
7. Батракова Л.Г. (2022) Выявление и оценка факторов, влияющих на цифровую зрелость регионов. *Теоретическая экономика*, 3 (87), 97–110. DOI: https://doi.org/10.52957/22213260_2022_3_97
8. Калинина А.Э., Петрова Е.А. (2018) Информационно-аналитическое обеспечение реализации кластерной политики в регионах России. *Вестник ВолГУ. Экономика*, 20 (4), 25–37. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2018.4.3>
9. Недосекин А.О., Абдулаева З.И., Миронов Д.С. (2022) Нечеткая модель оценки влияния показателей индекса счастья в странах мира на результат. *Цифровые модели и решения*, 1 (1), art. no. 4. DOI: <https://doi.org/10.29141/2782-4934-2022-1-1-4>
10. Недосекин А.О., Генералова А.В., Малюков Ю.А., Абдулаева З.И. (2023) Оценка экономической устойчивости предприятий легкой промышленности нечетко-логическими методами. *π-Economy*, 16 (3), 80–91. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16305>
11. Дебердиева Е.М., Фролова С.В. (2022) Применение методов теории нечетких множеств к оценке экономической эффективности интеграционных структур в промышленности. *Инженерный бизнес*, 114–118.
12. Еремин Н.А., Черепов К.Р. (2025) Математическая модель оценки уровня цифровизации нефтегазовых компаний на основе теории нечетких множеств. *Экспозиция Нефть Газ*, 1 (111), 22–29. DOI: <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2025-1-22-29>
13. Козлов А.В., Тесля А.Б., Иващенко А.А. (2021) Оценка уровня цифровизации регионов с применением нечеткой логики. *Управление устойчивым развитием*, 4 (35), 21–31.
14. Веретехин А.В. (2025) Оценка уровня цифрового развития промышленного предприятия на основе метода нечеткой логики. *π-Economy*, 18 (1), 139–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>
15. Серков Л.А. (2024) Применение методов нечеткой логики и машинного обучения для анализа промышленного электропотребления в условиях неопределенности. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 19 (1), 52–68. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-1-52-68>
16. Птушкин А.С. (2022) Использование энтропийных методов для этапов оценки наилучших доступных технологий. *Modern Economy Success*, 4, 102–108.
17. Кульшин Р.С., Сидоров А.А. (2024) Обобщенная метрика оценки эффективности алгоритмов рекомендательных систем на основе энтропийного метода. *Проблемы управления*, 4, 44–60. DOI: <https://doi.org/10.25728/ru.2024.4.4>
18. Матризаев Б.Д. (2021) Исследование синергетических эффектов влияния инновационных и сопряженных макроэкономических факторов на экономический рост. *Финансы: теория и практика*, 25 (4), 98–109. DOI: <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2021-25-4-98-109>
19. Соловьев Д.С. (2023) Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 23 (1), 161–168. DOI: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168>
20. Шишулин С.С. (2017) Методология сравнительного статистического анализа промышленности России на основе кластерного анализа. *Статистика и экономика*, 3, 21–30. DOI: <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2017-3-21-30>

21. Трещина С.В., Суворов Н.В. (2021) Инструментарий и результаты сравнения прогнозных и фактических показателей ВВП и валовой добавленной стоимости РФ в 2020 году (в условиях пандемии). *Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*, 19, 99–119. DOI: <https://doi.org/10.47711/2076-318-2021-99-119>
22. Шестаков Р.Б., Ловчикова Е.И. (2023) Кластеризация регионов на основе базовых аграрно-экономических критериев. *Экономика региона*, 19 (1), 178–191. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-14>
23. Родионов Д.Г., Лаврова О.И., Дмитриев Н.Д. (2025) Методологические основы цифровой платформы для согласования интересов региональных экономических агентов: институциональные механизмы и пространственная координация в Союзном Государстве. *Modern Economy Success*, 4, 326–336.
24. Родионов Д.Г., Лаврова О.И., Дмитриев Н.Д. (2025) Методологические основы цифровой платформы для согласования интересов региональных экономических агентов: технологическая и организационная архитектура промышленной трансформации Союзного Государства. *Modern Economy Success*, 4, 384–395.
25. Шлющенко К.А. (2023) Корреляционно-регрессионный анализ зависимости выручки крупнейших ТНК стран БРИКС в нефтегазовой отрасли от факторов экономической деятельности на примере корпорации «Oil and Natural Gas Corporation». *Инновационная наука*, 8 (1), 32–37.
26. Умаров У.У., Пошаходжаева Г.Ж., Хайтметов А.А. (2024) Влияние некоторых факторов на экономический рост на примере страны Сербия. *Экономика и социум*, 1 (116), 1441–1453.
27. Горидько Н.П. (2022) Структурный регрессионный анализ индекса потребительских цен в разрезе государств-членов ЕАЭС. *Управление инновациями – 2022*, 10–13. DOI: <https://doi.org/10.34981/Lab-67.2022.innovconf.2-goridko>
28. Яроменко Н.Н., Бубенок Е.Д., Хахалева Е.А. (2021) Корреляционно-регрессионный анализ как способ прогнозирования экономического развития предприятия. *Вестник Академии знаний*, 3 (44), 249–252. DOI: <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2021-11249>
29. Вареник М.С. (2024) Влияние научной и инновационной активности на ВРП регионов России: корреляционно-регрессионный анализ. *Государственное управление. Электронный вестник*, 107, 171–180. DOI: <https://doi.org/10.55959/MSU2070-1381-107-2024-171-180>
30. Тимофеева Ю.А. (2021) Построение модели рейтинга стран по параметрам «экономический рост», «кластеризация» в странах-лидерах по уровню кластеризации. *Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление*, 2 (250), 134–137. DOI: <https://doi.org/10.52065/2520-6877-2021-250-2-134-137>
31. Беданоков М.К., Моргунов Е.В., Чернявский С.В. (2022) Взаимовлияние ожидаемой продолжительности жизни и ВВП в странах мира. *Народонаселение*, 25 (4), 4–15. DOI: <https://doi.org/10.19181/population.2022.25.4.1>
32. Гварлиани Т.Е., Дмитриев Н.Д., Казарян Э.С., Кетова Н.П. и др. (2024) *Формирование новой стратегии России: от экономической устойчивости к опережающему развитию* (под ред. В.В. Сорокожердьева), коллективная научная монография, М.: Научно-исследовательский институт истории, экономики и права.

REFERENCES

1. Mirolyubova T.V., Nikolaev R.S. (2024) Digital economy and digital transformation of regional economy: Assessment and features. *Perm University Herald. Economy*, 19 (3), 340–354. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-3-340-354>
2. Khvan I.S., Khalikova S.S. (2021) Digital maturity of the territory: Overview of approaches to define and evaluate. *Scientists notes PNU*, 12 (2), 302–306.
3. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Chen Leifei (2025) A toolkit for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem based on coevolution and ecosystem synergy. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>
4. Merzlov I.Y. (2022) Methods for assessing digital maturity: an overview of international practice. *Creative Economy*, 16 (2), 503–520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.16.2.114163>



5. Shabaltina L.V. (2023) Classification of digital maturity assessment methods. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 13 (10), 4257–4280. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.13.10.119266>
6. Stroev V.V., Sidorenko S.V. (2024) Analysis of digital maturity of the Russian regions. *Vestnik Universiteta*, 5, 5–14. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2024-5-5-14>
7. Batrakova L.G. (2022) Identification and assessment of factors affecting the digital maturity of regions. *Theoretical Economy*, 3 (87), 97–110. DOI: https://doi.org/10.52957/22213260_2022_3_97
8. Kalinina A.E., Petrova E.A. (2018) Information-Analytical Support of Realization of Cluster Policy in the Regions of Russia. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3, Ekonomika. Ekologiya [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System]*, 20 (4), 25–37. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2018.4.3>
9. Nedosekin A.O., Abdulaeva Z.I., Mironov D.S. (2022) Fuzzy model for assessing the impact of the indicators of the “happiness index” in the countries of the world on the result. *Digital Models and Solutions*, 1 (1), art. no. 4. DOI: <https://doi.org/10.29141/2782-4934-2022-1-1-4>
10. Nedosekin A.O., Generalova A.V., Malyukov Yu.A., Abdulaeva Z.I. (2023) Assessment of the economic sustainability of light industry enterprises by fuzzy-logical methods. *π-Economy*, 16 (3), 80–91. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16305>
11. Deberdieva E.M., Frolova S.V. (2022) Application of fuzzy number theory methods to assess the economic efficiency of integration structures in industry. *Inzhenernyi biznes [Engineering business]*, 114–118.
12. Eremin N.A., Cherepov K.R. (2025) Mathematical model for assessing the level of digitalization of oil and gas companies based on the theory of fuzzy sets. *Exposition Oil Gas*, 1 (111), 22–29. DOI: <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2025-1-22-29>
13. Kozlov A.V., Teslya A.B., Ivashchenko A.A. (2021) Evaluation of digitalization level of regions with fuzzy logic appliance. *Sustainable Development Management*, 4 (35), 21–31.
14. Veretyokhin A.V. (2025) Assessment of the industrial enterprise digital development level based on fuzzy logic method. *π-Economy*, 18 (1), 139–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>
15. Serkov L.A. (2024) Fuzzy logic and machine learning methods applied to the analysis of industrial power consumption under the condition of uncertainty. *Perm University Herald. Economy*, 19 (1), 52–68. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2024-1-52-68>
16. Ptuskin A.S. (2022) Use of entropic methods for stages of assessment of best available techniques. *Modern Economy Success*, 4, 102–108.
17. Kulshin R.S., Sidorov A.A. (2024) An entropy-based composite indicator for evaluating the effectiveness of recommender system algorithms. *Control Sciences*, 4, 44–60. DOI: <https://doi.org/10.25728/pu.2024.4.4>
18. Matrizaev B.D. (2021) Research of the synergetic Effects of the Impact of Innovative and Related Macroeconomic Factors on Economic Growth. *Finance: Theory and Practice*, 25 (4), 98–109. DOI: <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2021-25-4-98-109>
19. Solovjev D.S. (2023) The objectification method of the weight coefficients for decision-making in multicriteria problems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 23 (1), 161–168. DOI: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168>
20. Shishulin S.S. (2017) Methodology comparative statistical analysis of Russian industry based on cluster analysis. *Statistics and Economics*, 3, 21–30. DOI: <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2017-3-21-30>
21. Treshchina S.V., Suvorov N.V. (2021) Toolkit and Results of Comparison of Forecast and Actual Indicators of GDP and Gross Value Added of the Russian Federation in 2020 (in Pandemic). *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*, 19, 99–119. DOI: <https://doi.org/10.47711/2076-318-2021-99-119>
22. Shestakov R.B., Lovchikova E.I. (2023) Clustering of Regions Using Basic Agricultural and Economic Criteria. *Economy of Regions*, 19 (1), 178–191. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-14>
23. Rodionov D.G., Lavrova O.I., Dmitriev N.D. (2025) Methodological foundations of a digital platform for aligning regional economic agents' interests: institutional mechanisms and spatial coordination in the Union State. *Modern Economy Success*, 4, 326–336.
24. Rodionov D.G., Lavrova O.I., Dmitriev N.D. (2025) Methodological foundations of a digital platform for aligning the interests of regional economic agents: technological and organizational architecture of industrial transformation in the Union State. *Modern Economy Success*, 4, 384–395.

25. Shlyushenkova K.A. (2023) Correlation-regression analysis of the dependence of the revenue of the largest TNCS of the BRICS countries in the oil and gas industry on the factors of economic activity on the example of the “Oil and Natural Gas Corporation”. *Innovation Science*, 8 (1), 32–37.
26. Umarov U.U., Poshaxodjaeva G.J., Khaitmetov A.A. (2024) Influence of some factors on economic growth in the example of the country of Serbia. *Economika i Sotsium [Economy and Society]*, 1 (116), 1441–1453.
27. Gorid'ko N.P. (2022) Strukturnyi regressionnyi analiz indeksa potrebitel'skikh tsen v razreze gosudarstv-chlenov EAES [Structural Regression Analysis of the Consumer Price Index by EAEU Member States]. *Upravlenie innovatsiami – 2022 [Innovation Management – 2022]*, 10–13. DOI: <https://doi.org/10.34981/Lab-67.2022.innovconf.2-goridko>
28. Yaromenko N.N., Bubenok E.D., Khakhaleva E.A. (2021) Correlation-regression analysis as a method of forecasting the economic development of an enterprise. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 3 (44), 249–252. DOI: <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2021-11249>
29. Varenik M.S. (2024) Impact of Research and Innovative Activity on Russian Regions' GRP: Correlation and Regression Analysis. *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik*, 107, 171–180. DOI: <https://doi.org/10.55959/MSU2070-1381-107-2024-171-180>
30. Timofeeva Yu.A. (2021) Building a model for ranking countries by the parameters of “economic growth”, “clustering” in the leading countries by the level of clustering. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2 (250), 134–137. DOI: <https://doi.org/10.52065/2520-6877-2021-250-2-134-137>
31. Bedanokov M.K., Morgunov E.V., Chernyavsky S.V. (2022) The interaction between Life expectancy and gross domestic product by countries. *Population*, 25 (4), 4–15. DOI: <https://doi.org/10.19181/population.2022.25.4.1>
32. Gvariani T.E., Dmitriev N.D., Kazarian E.S., Ketova N.P. et al. (2024) *Formirovaniye novoi strategii Rossii: ot ekonomicheskoi ustoichivosti k operezhaiushchemu razvitiyu* [Forming a New Strategy for Russia: From Economic Sustainability to Advanced Development] (eds. V.V. Sorokozherd'eva), monograph, Moscow: Nauchno-issledovatel'skii institut istorii, ekonomiki i prava.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

БЛАГОЙ Никита Арснович
E-mail: nikita_1915@bk.ru

Nikita A. BLAGOI
E-mail: nikita_1915@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4039-9274>

ДМИТРИЕВ Николай Дмитриевич
E-mail: dmitriev_nd@spbstu.ru
Nikolay D. DMITRIEV
E-mail: dmitriev_nd@spbstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0282-1163>

АЛЬКИН Кирилл Алексеевич
E-mail: newk3rell@yandex.ru
Kirill A. ALKIN
E-mail: newk3rell@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6857-7434>

Поступила: 01.11.2025; Одобрена: 17.12.2025; Принята: 17.12.2025.
Submitted: 01.11.2025; Approved: 17.12.2025; Accepted: 17.12.2025.