I.НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

УДК 338.1: 004.9; 330.35; 303.725.33

1.1. Индекс цифровизации отраслей экономики: конструирование на российских данных

Иноземцева Е.Ю., Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Количественная оценка цифровизации остается актуальным вопросом и требует измерителей, чувствительных к структурным особенностям экономики. В статье представлена методология конструирования индекса цифровизации отраслей на основе данных Росстата (форма № 3-информ) за 2021-2024 гг. Индекс состоит из семи функциональных блоков - субиндексов, сгруппированных в 3 эволюционные уровня: базовый, системный и прогрессивный, отражающих иерархию цифровой зрелости. Внутренняя согласованность субиндексов верифицирована методом главных компонент. Разработанный индекс цифровизации в нынешнем виде представляет собой диагностический инструмент для ежегодного мониторинга цифровой трансформации отраслей экономики. Дескриптивный анализ 2021 и 2024 годов показал, что на агрегированном уровне 17 крупных отраслевых разделов по ОКВЭД практически не различаются по уровню оснащенности технологиями в базовом уровне цифровизации. Глубокие разрывы, хотя и сократившиеся за 4 года, наблюдаются в охвате применения корпоративных информационных систем. Установлено, что дата-центричность по итогам 2024 года остается наиболее проблемной зоной цифровой трансформации, и прогрессивный уровень цифровой зрелости суммарно вносит максимальный вклад в сохранение межотраслевой неоднородности. Обнаружено влияние эффекта масштаба на качество цифрового капитала в торговле и финансах: прирост численности организаций привел к размыванию цифрового профиля отрасли, поскольку на рынок зашли игроки, обладающие дефицитом базового цифрового капитала. В отраслях с отрицательной динамикой числа организаций, использующих цифровые технологии, зафиксирован качественный скачок на разных уровнях цифровой зрелости, т.е. уход с рынка свойственен организациям с меньшим цифровым капиталом. Траектория интенсивного масштабирования, при которой рост числа организаций сопровождался ростом системного и прогрессивного уровней цифровизации, выявлена в обрабатывающей и добывающей промышленности, здравоохранении. Главными драйверами цифровизации за исследуемые годы стали корпоративные информационные системы и программные средства для научных исследований и обучения. Использование индекса на более детальном уровне агрегации позволит выявить внутриотраслевые неоднородности.

Введение

Цифровая трансформация экономики признана одним из ключевых драйверов долгосрочного роста и конкурентоспособности. Цифровизация позволяет менять бизнес-модели, перенастраивать цепочки создания стоимости и создавать новые продукты и рынки. Однако количественная оценка влияния цифровизации на экономические показатели сталкивается с фундаментальным методологическим вызовом: отсутствием общепризнанного, универсального, многомерного и одновременно структурно-чувствительного измерителя цифровой зрелости на общеэкономическом и отраслевом уровнях. Потребность в таком измерителе продиктована решением двух взаимосвязанных задач: во-первых, оценка общеэкономической эффективности цифровизации с целью выявления макро-трендов, вклада технологий в рост ВВП и производительность труда, во-вторых, управление темпами освоения цифровых инструментов и их реальной отдачей в разных видах деятельности, корректно сопоставляя траектории развития отраслей и согласовывая их динамику с общеэкономическими трендами.

С одной стороны, имеются классические исследования, анализировавшие вклад ИКТ в экономический рост с помощью параметров объема и качества ИКТ-капитала и труда, которые выявили значимый вклад цифровых технологий в рост выпуска и производительность в США в период с 1995 по 2006 годы (Oliner et al., 2007; Jorgenson, Ho & Stiroh, 2008). Однако авторы рассматривали эффекты цифровизации с акцентом на сферу услуг, не уделив достаточного внимания резкому росту производительности в сельском хозяйстве за те же годы из-за его малой доли в ВВП. При этом их новацией стало разделение отраслей на две группы: производителей ИКТ и пользователей ИКТ. С другой стороны, было установлено, что краткосрочная отдача от компьютеризации малозаметна, и основной эффект материализуется лишь на горизонте 5-7 лет через комплементарные инвестиции в организационный капитал (Brynjolfsson, Hitt, 2003). Очевидно, срок отдачи от внедрения цифровых инструментов варьируется от отрасли к отрасли в силу различий масштабов, структуры затрат и проникновения ИКТ через промежуточное потребление. С тех пор предпринималось немало попыток определения временных горизонтов ожидания значимых результатов и обеспечения мониторинга динамики цифровизации и ее эффектов.

Количественное измерение цифровизации отраслевой экономики было представлено в методе ученых ОЭСР для ранжирования отраслей по 5 ключевым метрикам: доля инвестиций в ИКТ, закупки ИКТ-товаров, плотность использования роботов, доля ИКТ-специалистов и оборот онлайн-продаж (Calvino et al., 2018). В данном случае процесс цифровизации проявляется в его технологической компоненте, наличии достаточного числа специалистов в области ИКТ и изменениях поведения фирм. Исследование опиралось на сравнение периодов 2003-2005 и 2013-2015 годов. Однако, в этой методологии задействованы стоимостные оценки, требующие использование страновых и отраслевых дефляторов, которые имеют свой недостаток. При этом глобальный межстрановой рейтинг и отраслей не обновлялся с тех пор, и исследователи ОЭСР предлагают другие виды оптики в текущих аналитических докладах, так и не определившись с единой методологией.

Другие международные подходы измерения цифровизации, такие как Индекс цифровой экономики и общества ЕС (DESI), применяются для межстрановых сравнений, но опираются на агрегированные индикаторы и экспертно назначаемые веса, обоснованные политическими приоритетами цифровой трансформации ЕС, что затрудняет их адаптацию для общеэкономического и отраслевого анализа на российских данных.

Новацией стало введение в оборот задачного подхода (англ. task-based approach), постулирующего перенос информации и знаний физического мира и человеческого сознания в цифровую среду, который позволяет оценить охват цифровыми инструментами и ИИ-агентами рутинных задач (Brynjolfsson, McAfee, 2014; Brynjolfsson, Mitchell, 2017). При таком подходе производственная функция отрасли моделируется как непрерывный спектр задач, и анализ строится в двух разнонаправленных процессах: эффекте замещения, при котором автоматизация снижает долю труда, и эффекте создания, порождаемом технологическим прогрессом, при котором человек привлекается к более сложным задачам (Acemoglu, Restrepo, 2018).

В российском дискурсе значительная часть работ по оценке эффективности цифровизации сфокусирована на четырех направлениях: анализ влияния в отдельных отраслях или комплексах отраслей, пространственные сопоставления стран и регионов, ранжирование отраслей по уровню использования отдельных цифровых технологий, поиск эффектов на показателях групп компаний. Общим местом является подход, при котором для оценки цифровой зрелости экономики объединяются в одном индексе показатели разной природы: стоимостные (затраты на цифровые технологии) и технологические (навыки, использование непосредственных инструментов) (Васильковский и соавторы, 2022). Такое смешение затрудняет выделение собственно технологического вклада цифровизации в показатели эффективности, смещает оценки в сторону отраслей с большей финансовой мощью.

Для российской экономики, характеризующейся значительной дифференциацией отраслей по уровню технологического развития, доле малого бизнеса и охвату статистическим наблюдением, требуется инструмент, который не просто ранжирует отрасли по уровням цифровизации, а способен улавливать стадии технологической диффузии и институциональные особенности, то есть позволял бы отделить технологический профиль от финансовой емкости. Согласно модели диффузии инноваций Роджерса, технологии распространяются волнообразно (Rogers, 1983), поэтому реальную цифровизацию определяет не количество потраченных денег, а какой процент рабочих мест, процессов или компаний физически используют цифровые инструменты. Уход от стоимостных оценок в сторону показателей охвата инструментов представляется верной стратегией при конструировании универсального индикатора цифровизации. При этом главным методологическим вызовом при создании такого измерителя является возможность учета масштаба и специфики отраслей.

В академической литературе для количественной оценки различных процессов и явлений широко применяются методы построения интегральных индексов, обобщенные в Руководстве ОЭСР. Стандартным приемом агрегирования выступает метод главных компонент (PCA), который максимизирует объясненную дисперсию. Однако, как отмечается в методической литературе, такой подход придает наибольший вес самым массовым, а не наиболее стратегически значимым компонентам, что противоречит интуитивным представлениям о свойствах цифровизации. Помимо этого, главный вызов при конструировании индексов связан не столько с выбором схемы агрегирования, но в первую очередь, с формированием самого набора компонентов. Один и тот же набор статистических показателей может быть скомпонован в различные группировки, специфика которых неизбежно несет отпечаток экспертных представлений о структуре анализируемого явления, что создает риски доверия к интегральным измерителям, как объективному инструменту.

Целью настоящего исследования стала разработка индекса цифровизации отраслей российской экономики, отвечающего следующим требованиям: (а) чувствительность к стратегически значимым, но еще не массовым направлениям цифровой трансформации; (б) способность различать структурную гетерогенность эффектов - от технологического драйвера в отраслях с низкой цифровой зрелостью до насыщения у лидеров; (в) прозрачность и воспроизводимость методологии на основе открытых данных Росстата.

Статья построена следующим образом: в разделе «данные и методы» описываются данные, их ограничения, процедура формирования функциональных блоков, обосновывается нормативно-целевой подход в определении экспертных весов каждого субиндекса, описывается методология агрегирования индекса; в разделе «результаты и обсуждение» представлены результаты анализа распространения

цифровых инструментов в отраслях экономики, разрывы в уровнях цифровизации и цифрового капитала в отраслях экономики, сравнение индекса цифровизации в 2021 и 2024 годы; в разделе «заключение» намечаются направления будущих исследований.

Данные и метод

Эмпирическая база исследования

Основу данных для разработки индекса цифровизации отраслей экономики России составили таблицы ежегодных наблюдений Росстата за 2021-2024 годы, собранные по форме №3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг». Указанные таблицы довольно содержательны, однако не включают сведения об использовании технологий распределенных реестров (блокчейн), беспилотных летательных аппаратов, автономных транспортных средств (кроме 2023 года), виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), которые относят к технологиям цифровой экономики и целесообразно учитывать при формировании полноценной картины. С одной стороны, набор использованных таблиц в качестве эмпирической базы является достаточным для определения статуса цифровизации по основным направлениям трансформации, с другой - обусловлен непостоянством и изменчивостью формы «3-информ», которую обязаны ежегодно заполнять организации. В этом смысле наличие более развернутых данных в будущем позволит усилить уровень методологической строгости. К тому же в таблицах Росстата пропущены данные по 2 включенным в индекс показателям для всех объектов наблюдений: использование организациями технологии сбора, обработки и анализа больших данных за 2022 год и центры обработки данных (ЦОД) за 2021-2022 годы. Указанные технологии носят стратегический характер для цифровой трансформации, поэтому не были исключены из индекса, несмотря на пропуски в данных. В соответствии с рекомендациями международного руководства по построению сводных индикаторов приоритет был отдан прозрачности, поэтому пропуски не были синтезированы. В целом, информационную базу для данного исследования представляет относительно сбалансированная панель за 4 года для 17 агрегированных видов экономической деятельности по ОКВЭД.

Важно учитывать, что непосредственно по форме 3-информ данные собираются с организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, для которых установлена отдельная форма № 3-информ (МП) "Сведения об использовании цифровых технологий малым предприятием". Таблицы с результатами наблюдений, сформированные по форме № 3-информ (МП), в открытых источниках Росстата отсутствуют, поэтому эмпирическая база индекса цифровизации не охватывает всю экономику и характеризует так называемое технологическое ядро исследуемых отраслей и экономики в целом. В любом случае, при формировании общих выводов мы исходим из того, что представленные результаты и сконструированный индекс базируются на данных организаций, в которых работает подавляющее большинство работников отраслей.

Формирование функциональных блоков цифровизации

Интегральный индекс цифровизации базируется на линейной комбинации 7 субиндексов, представляющих из себя функциональные блоки, в которых абсолютное число организаций, применявших ту или иную технологию, преобразуется в относительные величины охвата отрасли. Чтобы обеспечить сопоставимость всех показателей и отразить уровень цифровизации среди организаций, уже вовлеченных в использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), в качестве единого знаменателя для всех объектов используется показатель «Число организаций, использовавших цифровые технологии, всего» таблицы «1_ОКВЭД» набора «3-информ» в исследуемый период. Таким образом, каждая переменная рассчитывается как удельный вес организаций, внедривших конкретный инструмент, от общего числа организаций, охваченных цифровыми технологиями в соответствующем году и отрасли.

Ключевыми инструментами цифровизации являются технологии и решения, которые позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки и анализа данных, оптимизировать взаимодействие участников и учет бизнес-операций. Для оценки проникновения цифровой экономики технологии и программное обеспечение в количестве 42 единиц были распределены по функциональным блокам (субиндексам), каждый из которых отражает самостоятельное стратегическое направление цифровизации. При формировании функциональных блоков автор опирался на экономическую логику и практику корпоративного управления, однако для проверки внутренней гомогенности сформированных блоков был использован метод главных компонент (PCA), что позволило подтвердить многомерность структуры цифровизации.

Таблица 1. Состав функциональных блоков (субиндексов) цифровизации

Функциональный блок (субиндекс)	Набор показателей по числу организаций, использовавших ИКТ инструменты:	Источник данных в составе таблиц 3-информ	Кол-во показателей	Суммарная доля объясненной дисперсии (первые 3 компоненты)
ИТ-инфраструктура	серверы, фиксированный (проводной и беспроводной) интернет, мобильный интернет, центры обработки данных (ЦОД), облачные сервисы	№ 1_ОКВЭД	5	87%
Цифровое взаимодействие	веб-сайт в интернете, цифровые платформы, аккаунт в социальной сети, электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами по форматам обмена, системы электронного документооборота, редакционно-издательские системы, электронные справочно-правовые системы, специальные программные средства для предоставления доступа к базам данных предприятия через глобальные информационные сети, включая сеть интернет, для осуществления финансовых расчетов в электронном виде	№ 1_ОКВЭД № 31_ОКВЭД	9	81%
Программное обеспечение для науки и обучения	Специальные программные средства для научных исследований и обучающие программы	№ 31_ОКВЭД	2	-
Умное производство	промышленные роботы / автоматизированные линии, аддитивные технологии, цифровой двойник, специальные программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими средствами и технологическими процессами, проектирования / моделирования (CAD/CAE/CAM/CAO), PLM / PDM системы	№ 1_ОКВЭД № 31_ОКВЭД	6	95%
Эффективные бизнес-процессы	Специальные программные средства для управления закупками товаров (работ, услуг), для управления продажами товаров (работ, услуг), для управления складом, CRM системы, ERP системы, SCM системы, HRIS	№ 31_ОКВЭД	7	93%
Генерация данных	геоинформационные системы, интернет вещей, технологии радиочастотной идентификации объектов (RFID), технологии сбора, обработки и анализа больших данных	№ 1_ОКВЭД	4	94%
Кибербезопасность	специальные программные средства для обеспечения информационной безопасности, средства шифрования, средства строгой аутентификации, резервное копирование данных на носители, находящиеся физически не на территории организации, биометрические средства аутентификации пользователей, программные/ аппаратные средства, препятствующие несанкционированному доступу вредоносных программ из глобальных информационных/ локальных вычислительных сетей (брандмауэр), спам - фильтр, системы обнаружения вторжения в компьютер или сеть, программные средства автоматизации процессов анализа и контроля защищенности компьютерных систем	№ 31_ОКВЭД № 33_ОКВЭД	9	96%

Разработано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Субиндекс «ИТ-инфраструктура» характеризует физическую и облачную вычислительную базу, без которой невозможна цифровизация. Подключение к фиксированному и мобильному интернету отражает базовую связность, наличие серверов и центров обработки данных свидетельствует о вычислительных мощностях, а использование облачных сервисов - о переходе к модели инфраструктура, как услуга

(IaaS) и платформа, как услуга (PaaS). Субиндекс «Цифровое взаимодействие» охватывает инструменты, которые меняют форму внешних связей организаций и внутренних коммуникаций. Веб-сайт, социальные сети и цифровые платформы обеспечивают присутствие в интерактивной среде, системы электронного документооборота (ЭДО), обмена данными и цифровые каналы для финансовых расчетов ускоряют документооборот и транзакции, справочно-правовые системы упрощают процесс обеспечения актуальности нормативных материалов, связанных с правоприменением, редакционно-издательские системы востребованы для автоматизации работы с контентом, системы доступа к базам данным расширяют информационные возможности. Субиндекс «ПО для обучения и науки» был выделен в отдельный функциональный блок, поскольку отражает инвестиции в человеческий капитал и инновационный потенциал организаций, которые необходимо мониторить отдельно от других инструментов, так как характеризуют будущие возможности организаций. Программы для научных исследований используются в R&D, а обучающие платформы - для развития компетенций персонала, что является необходимым условием эффективной цифровой трансформации. Переменные, характеризующие данные инструменты, имеют высокую положительную корреляцию, что подтверждает их совместное движение. Субиндекс «Умное производство» объединяет производственные и инженерные технологии, трансформирующие промышленные процессы: роботы и аддитивные технологии автоматизируют физический труд, программные средства CAD/CAE и PLM оцифровывают процесс проектирования и жизненный цикл изделия, цифровой двойник создает виртуальную модель объектов. Мы ожидаем, что данный субиндекс будет выше в реальном секторе, нежели в сфере услуг, тем не менее выделяем его в отдельную сущность ради мониторинга технологической трансформации отраслей экономики. Субиндекс «Эффективные бизнес-процессы» охватывает корпоративные системы управления ресурсами, цепочками поставок и взаимоотношениями с клиентами. Такие информационные системы, как ERP и SCM автоматизируют основные бизнес-процессы, CRM - взаимодействие с клиентами, HRIS - управление кадрами, специализированные модули закупок, продаж и складского хозяйства обеспечивают сквозную автоматизацию. Субиндекс «Генерация данных» отражает способность организаций генерировать и обрабатывать данные в реальном времени без значительного ручного вмешательства. Технологии интернет вещей и RFID обеспечивают автоматический сбор первичных данных, технологии больших данных - их групповую обработку, а ГИС - пространственный анализ. Субиндекс «Кибербезопасность» отражает уровень защищенности цифровой среды. Поскольку цифровизация повышает уязвимость к киберугрозам, использование комплексных средств защиты является неотъемлемым элементом цифровой зрелости.

Указанные инструменты все вместе формируют цифровой капитал организаций и создают основу для внедрения искусственного интеллекта. Соответственно мониторинг их охвата позволяет оценить готовность организаций и отраслей к ИИ-трансформации. В то же время представленные семь функциональных блоков охватывают ключевые стороны цифровизации от базовой инфраструктуры до средств защиты. Каждый блок прошел проверку на внутреннюю согласованность, что подтверждает целесообразность объединения указанных инструментов в соответствующие субиндексы. Агрегирование внутри блоков произведено по средневзвешенным удельным весам организаций, нормированных числом потенциально возможных инструментов в блоке. Формула для субиндекса имеет вид:

$$SubDig_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\mathrm{Opr_{ij}}}{\mathrm{TotalOrg}} \quad (1),$$

где $SubDig_j$ - значение j-го субиндекса, $\mathrm{Opr_{ij}}$ - число организаций, использующих i-й инструмент в j-м блоке, $\mathrm{TotalOrg}$ - общее число организаций, использовавших цифровые технологии в данном году / отрасли, n_j - потенциальное количество инструментов в блоке.

Формирующие общий индекс субиндексы имеют единую шкалу измерения, что отвечает признакам прозрачности и соответствует концепции диффузии цифровизации среди охваченных хотя бы базовыми цифровыми технологиями организаций. Целесообразность объединения семи функциональных блоков в единый показатель продиктована результатами теста на мультиколлинеарность (Variance Inflation Factor), который выявил его критический уровень, что указывает на взаимную корреляцию собранных блоков. Данная ситуация отражает фундаментальное свойство цифровизации как системного процесса: технологии внедряются комплексно, что оправдывает их объединение в единый интегральный показатель.

Также примененный метод главных компонент подтвердил свойство цифровизации как многомерного процесса, в котором наряду с общим уровнем технологической оснащенности, существуют два независимых вектора: ориентация на генерацию и анализ данных и продвинутые производственные практики, трансформирующие бизнес-модель. Но PCA из-за слабой корреляции двух этих блоков с остальными субиндексами принижает их значимость за то, что они еще не стали массовыми. Поскольку в рамках исследования поставлена задача создать инструмент, чувствительный к прогрессу в ключевых направлениях цифровой зрелости, то цифровизация рассматривается автором как иерархический процесс, в котором развитие базовой ИТ инфраструктуры и цифровое взаимодействие являются гигиеническим минимумом существования любой организации, в то время как корпоративные информационные системы, генерация, сбор и анализ объективных данных и другие инструменты пока еще позволяют компаниям дифференцироваться и получать конкурентное преимущество. Соответственно конструирование интегрального индекса должно отвечать следующим целям: отражать стратегические приоритеты, быть чувствительным к ранним стадиям диффузии, обеспечивать сопоставимость во времени и между отраслями, не меняя веса при каждом обновлении выборки. Этим требованиям отвечает нормативно-

целевой подход, при котором веса субиндексов назначаются экспертной оценкой, исходя из их роли в исследуемом явлении, в нашем случае, цифровой трансформации, а не согласно статистической дисперсии. Экспертное назначение весов позволило интегрировать все факторы в единый индекс, обеспечив его чувствительность к высокотехнологичным изменениям.

В итоге, для комплексной оценки цифровизации был сконструирован интегральный индикатор, включающий 7 субиндексов, распределенных по 3 группам, соответствующим иерархическим уровням цифровизации: базовой, системной и прогрессивной. Такая группировка позволяет получать сводные оценки, выявлять драйверы, и обеспечивать многоуровневую интерпретацию эффектов цифровизации. Формула для интегрального индекса цифровизации имеет вид:

$$DigIndex = \sum_{j=1}^{7} \left(SubDig_j \times w_j\right) \times 100 \quad (2),$$

где $SubDig_j$ - значение j-го субиндекса, w_j - экспертно-назначенный вес j-го субиндекса.

Таблица 2. Структура индекса цифровизации отраслей экономики

Уровень цифровизации	Субиндекс	Вес субиндекса
Базовый 25%	ИТ-инфраструктура	12.5%
	Цифровое взаимодействие	12.5%
Системный 25%	Эффективные бизнес-процессы	20%
	Кибербезопасность	5%
Прогрессивный 50%	Программное обеспечение для науки и обучения	10%
	Умное производство	10%
	Генерация данных	30%

Разработано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

У каждой ступени своя роль в цифровой иерархии: на базовом уровне происходит создание минимальной технологической среды существования организации в цифровой экономике, используются технологии общего назначения, доступные большинству организаций и не требующие значительных компетенций и затрат на внедрение; на системном уровне происходит автоматизация ключевых операций и поддержка их устойчивости, на прогрессивном уровне, наиболее продвинутом, создаются способности к непрерывному совершенствованию на основе данных и передовых технологий. Цифровая экономика предполагает наличие базовых компонентов (серверы, фиксированный интернет, мобильный интернет, центры обработки данных и облачные сервисы) у каждой компании. Мы ожидаем максимальное значение субиндекса «ИТ-инфраструктура» во всех отраслях, и при весе в 12.5% данный блок будет иметь вклад 12.5 пунктов в интегральном уровне. Такой же вес был присвоен функциональному блоку «цифровое взаимодействие», также отнесенному к базовому уровню цифровой иерархии. Аналогичной логикой автор руководствовался при назначении весов для остальных функциональных блоков. Информационная безопасность относится к вспомогательным инструментам, поэтому функциональный блок «Кибербезопасность» получил 5% вес в конфигурации интегрального индекса цифровизации. Внутри прогрессивного уровня субиндекс «генерация данных» получает более высокий вес, чем умное производство, поскольку способность генерировать и анализировать данные является универсальной характеристикой цифровой зрелости для любой отрасли, тогда как умное производство в большей степени специфично для реального сектора экономики. Суммарные веса для базового и системного уровней составляют по 25%, а у прогрессивного - 50%. Такой подход подчеркивает приоритетную значимость прогрессивного уровня в формировании итогового значения индекса цифровизации и обеспечивает повышенную чувствительность индекса к изменениям в этой группе.

Для оценки устойчивости итогового индекса к выбору весовых коэффициентов был проведен анализ чувствительности. Вес каждого из семи субиндексов поочередно изменялся на ±5 процентных пунктов с пропорциональной корректировкой остальных весов для сохранения их суммы равной единице. Для каждого из 14 сценариев рассчитывался отраслевой индекс, и его ранжирование сопоставлялось с базовым с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Минимальное значение корреляции составило 0,995 ($p < 0,001$), среднее - 0,997. Столь высокая устойчивость свидетельствует о том, что возможные погрешности в назначении экспертных весов не оказывают значимого влияния на содержательные выводы об уровне цифровой зрелости отраслей.

Результаты и обсуждение

Охват цифровыми инструментами отраслей экономики

Декомпозиция сквозного процесса цифровизации на семь изолированных функциональных блоков позволила сформировать многомерный профиль распространения цифровых инструментов в разрезе 17 отраслей российской экономики. На рис. №1 представлен охват цифровых инструментов и физический масштаб анализируемых отраслей. Ранжирование отраслей осуществлено по убыванию, при этом в качестве объективного бенчмарка в рейтинг интегрирован агрегат «вся экономика», соответствующий объекту «114.АГ» в таблицах Росстата.



Рисунок 1. Охват цифровых инструментов в отраслях российской экономики в 2024 г.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

В 2024 году лидером по распространению цифровых инструментов и абсолютному количеству организаций, использующих цифровые технологии и попавших в наблюдение Росстата по форме №3-информ, являлся вид деятельности «торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов», на втором месте оказалась обрабатывающая промышленность, на третьем - «деятельность финансовая и страховая». Цифровым аутсайдером определена «деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений». Срез 2024 года демонстрирует, что весомый блок экономики «государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение» значительно отстает от общеэкономического уровня и внедряет цифровые инструменты медленно. Анализ структуры левой панели позволяет верифицировать неравномерность цифровизации среди всех отраслей экономики: более высокая плотность блоков «кибербезопасность», «цифровое взаимодействие» и «ИТ-инфраструктура» при относительно слабом охвате инструментов «эффективные бизнес-процессы», «ПО для обучения и науки», «умное производство» и «генерация данных».

Группировка 7 субиндексов в соответствии с иерархическими уровнями цифровизации: базовым, системным и прогрессивным, и сравнение их статусов по каждой отрасли в 2021 и 2024 годы позволила выявить сдвиг в цифровой трансформации экономики России: переход от насыщения базовыми инструментами к стадии более интенсивной системной интеграции цифровых инструментов и общего выравнивания уровней.

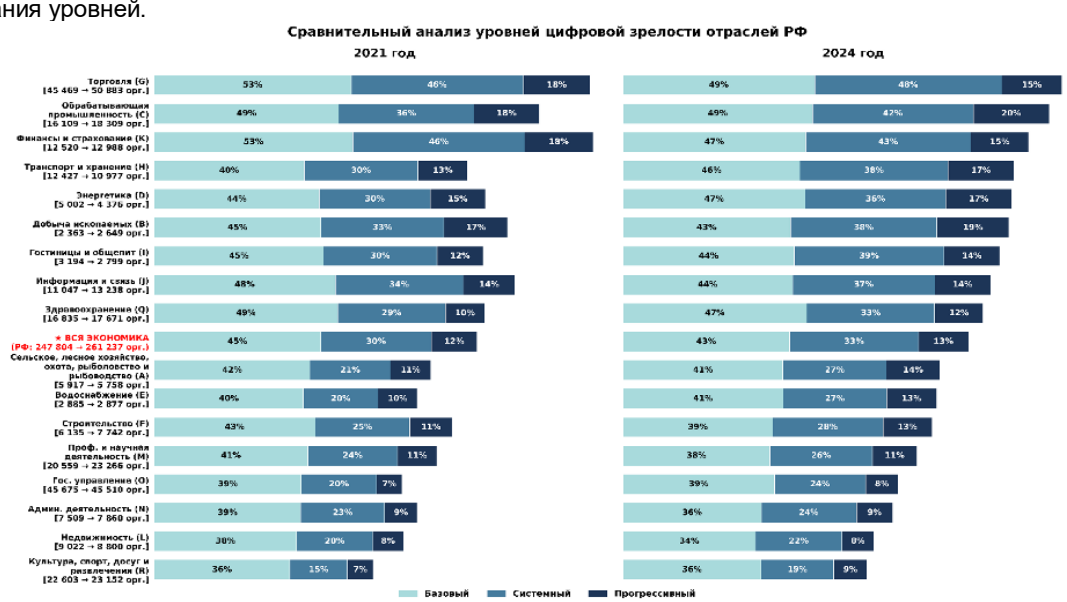


Рисунок 2. Сравнительный анализ уровней цифровой зрелости отраслей России в 2021 и 2024 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Во всех отраслях значение базового уровня больше системного, который, в свою очередь, больше прогрессивного, что подтверждает иерархическое или поступательное внедрение цифровых инструментов. Общеэкономический тренд демонстрирует умеренный рост числа организаций, использующих цифровые технологии (+5%), сопровождающийся снижением охвата цифровых инструментов на базовом уровне с 45% до 43%, в то время как системный и прогрессивный слои приросли на 3 п.п. и 1 п.п. соответственно. Данная динамика отражает неравномерное влияние эффекта масштаба на качество цифрового капитала. Межотраслевой анализ выявил три траектории цифровой эволюции российской экономки. На фоне прироста численности организаций в торговле, финансах и ИКТ произошло размывание цифрового профиля, поскольку на рынок зашли новые игроки, обладающие дефицитом первичного цифрового капитала. Траектория интенсивного масштабирования обнаружена в обрабатывающей промышленности: здесь прирост отрасли на 12% организаций не привел к размыванию структуры цифрового профиля, а обеспечил рост системного (+ 6 п.п.) и прогрессивного (+2 п.п.) уровней. Похожая траектория наблюдается в добывающей промышленности и здравоохранении. В отраслях с отрицательной динамикой числа организаций, использующих цифровые технологии, зафиксирован качественный скачок на разных уровнях цифровой зрелости. В транспорте и хранении, энергетике, первичном секторе АПК, гостиничном бизнесе и общепите произошел значительный рост охвата цифровыми инструментами, как на системном, так и на прогрессивных уровнях, а в транспорте, энергетике и водоснабжении подрос и базовый слой. Приведенные замеры фиксируют уход с рынка компаний с меньшим цифровым капиталом. Важным аналитическим выводом исследования является фиксация межотраслевых разрывов: базовый уровень достиг технологического насыщения на уровне 42.5%, в то время как системный уровень с диапазоном значений 19-48% выступает главной зоной межфирменной конкуренции и эффективности, требующей глубокой перестройки систем управления бизнес-процессами. При этом прогрессивный слой закрепил за собой статус зоны генерации стратегических конкурентных преимуществ и технологической трансформации, отрыв в которой определяет отрасли-драйверы экономического роста. Указанные выводы подтверждаются сопоставлением коэффициентов вариации субиндексов за 2021 и 2024 годы:

Таблица 3. Количественная оценка межотраслевой неоднородности уровня цифровизации отраслей

Коэффициент вариации (CV)	Уровень цифровизации	Функциональный блок	2021	2024
	Базовый	ИТ-инфраструктура	0.1134	0.1183
		Цифровое взаимодействие	0.1409	0.1347
	Системный	Эффективные бизнес-процессы	0.5110	0.3446
		Кибербезопасность	0.2534	0.2356
	Прогрессивный	Программное обеспечение для науки и обучения	0.4336	0.2357
		Умное производство	0.6959	0.4559
		Генерация данных	0.2325	0.3013
	Общий	Индекс цифровизации	0.2163	0.1994

Источник: рассчитано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Отрасли практически не различаются по уровню оснащенности технологиями на базовом уровне цифровизации - коэффициент вариации (CV) имеет стабильное значение в 2021 и 2024 годы - конвергенция достигнута. Т.е. инфраструктура и базовые каналы коммуникации не создают рыночной дифференциации и не выступают драйверами конкурентоспособности, разброс между отраслями на этом уровне минимален. Наиболее тектонические сдвиги зафиксированы на системном уровне в блоке «эффективные бизнес-процессы», где произошел чистый прирост среднего балла при одновременном радикальном падении коэффициента вариации. ERP, CRM, SCM и прочие корпоративные системы управления, считавшиеся в 2021 году конкурентным преимуществом, к 2024 году становятся институциональным стандартом для экономики. Блок «умное производство» также исходно отличался очень высокой степенью неравенства и даже при значительном снижении коэффициента вариации в исследуемый период, межотраслевой разрыв все еще остается самым значимым, что указывает на сохранение существенной отраслевой специфики: многие виды деятельности сектора услуг и сырьевые отрасли еще далеки от насыщения технологиями Индустрии 4.0. Значительное снижение относительного разброса зафиксировано в блоке инструментов «ПО для науки и обучения», вероятно свою роль сыграл общий тренд на корпоративное онлайн-обучение. Разрыв по глубине внедрения сократился во всех функциональных блоках, кроме генерации данных, где дифференциация не сглаживается, а, напротив, усиливается, то есть дата-центричность остается наиболее проблемной зоной цифровой трансформации. Суммарно прогрессивный уровень вносит максимальный вклад в сохранение межотраслевой цифровой дивергенции.

Коэффициент вариации общего индекса цифровизации сократился с 0.2163 в 2021 г. до 0.1994 в 2024 г., что указывает на постепенное подтягивание отстающих отраслей к лидерам. Однако анализ табл. 3 показывает, что общий индекс скрывает структурные диспропорции, поэтому контроль статуса цифрового неравенства в экономике целесообразно осуществлять именно в функциональном разрезе, чтобы не пропустить усиление структурной неоднородности при цифровой трансформации и переходе к экономике данных.

Уровень цифровизации экономики

Представленный выше многомерный анализ функциональных блоков и иерархических уровней цифровизации позволил сформировать карту цифрового ландшафта отраслей российской экономики. Однако прямое суммирование субиндексов исходит из ложной предпосылки о равной значимости каждого функционального направления для экономического роста. В реальной экономической системе технологии имеют разную предельную полезность и транзакционную значимость. Количественное измерение цифровизации мы предлагаем осуществлять посредством сконструированного индекса с экспертно-заданными весами, отражающими стратегическую значимость каждого функционального блока в процессах генерации добавленной стоимости. Наивысший вес присвоен блокам «генерация данных» (30%) и «эффективные бизнес-процессы» (20%), поскольку именно они выступают ключевыми драйверами цифровизации. На наш взгляд, экспертные веса не искажают объективную структуру данных, а выступают в роли нормативно-целевого фильтра, обеспечивая чувствительность индекса к цифровой трансформации экономики, что в будущем планируется подтвердить при оценке эффектов на макроэкономических данных.

Значение индекса агрегировано по всем видам экономической деятельности по итогам 2024 года составило 24.2 п.п., опустившись на 0.1 п.п. по сравнению с результатом 2021 года, т.е. цифрового рывка в целом по экономике за указанный период не произошло, напротив приток новых организаций несколько ухудшил цифровой капитал экономики. Положительный вклад в общеэкономический уровень цифровизации был обеспечен ростом значений субиндексов «эффективные бизнес-процессы» на 1.4 п.п. - отрасли оптимизируют управление ресурсами, «ПО для науки и обучения», который прибавил за весь период 0.7 п.п., и «умное производство», выросший на 0.2 п.п., рис. 3:

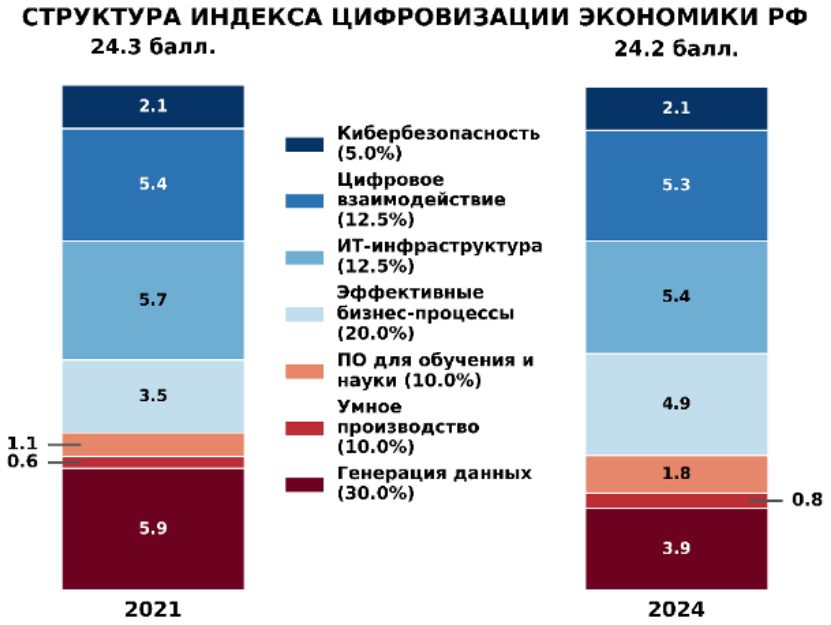


Рисунок 3. Функциональная структура индекса цифровизации российской экономики в 2021 и 2024 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Незначительная отрицательная динамика отмечается в базовом уровне цифровой иерархии: субиндексе «ИТ-инфраструктура» на 0.3 п.п. и «цифровое взаимодействие» на 0.1 п.п., как было определено выше, связано с притоком организаций с дефицитом цифрового капитала. Играющий ключевую роль в экономике данных субиндекс «генерация данных» потерял еще больше – почти 2.0 п.п. в 2024 году к 2021 году, что свидетельствует о существенном снижении интенсивности сбора данных в целом по экономике, либо является следствием ограничения данных. В любом случае, отсутствие роста субиндекса «генерация данных» является прямым вызовом стратегии ИИ-трансформации, поскольку без притока первичных данных эффективность алгоритмов не будет проявляться в полной мере.

Заметно сформировавшееся плато по уровню кибербезопасности в индексе цифровизации по двум причинам: зрелость рынка информационной безопасности и его высокая степень локализации, что делает доступным массовое использование российскими организациями средств защиты информации, по которым Росстат ведет наблюдение. Это согласуется с сильными компетенциями и суверенным положением России в сфере информационной безопасности (Симонов, Хаматханова, Лысенко, 2025). Высокая доля организаций, использующих средства информационной защиты, не является цифровым рывком, а скорее следствием технологической зрелости нашей страны: экономической и физической доступности необходимых инструментов по данному направлению. Отсутствие роста вклада субиндекса «кибербезопасность» в общий индекс свидетельствует о достижении технологического насыщения в средствах защиты - база сформирована и просто поддерживается.

Индекс является удобным инструментом для межотраслевого анализа, отражая уровень цифрови-

зации доминирующей части экономики, но может быть смещен для отраслей, где малый бизнес составляет значимую роль. Напомним, что технологическое ядро, которое измеряет индекс, это организации, формирующие основной объем выпуска и занятости в большинстве отраслей. На рис. 4 представлена визуализация отраслевого среза по итогам 2024 года относительно 2021 года в рамках единой методологии. Итоговый балл отражает взвешенную долю внедренных цифровых инструментов максимально возможного потенциального пула, что гарантирует сквозную сопоставимость отраслей во времени и пространстве независимо от объема и структуры объектов наблюдения.

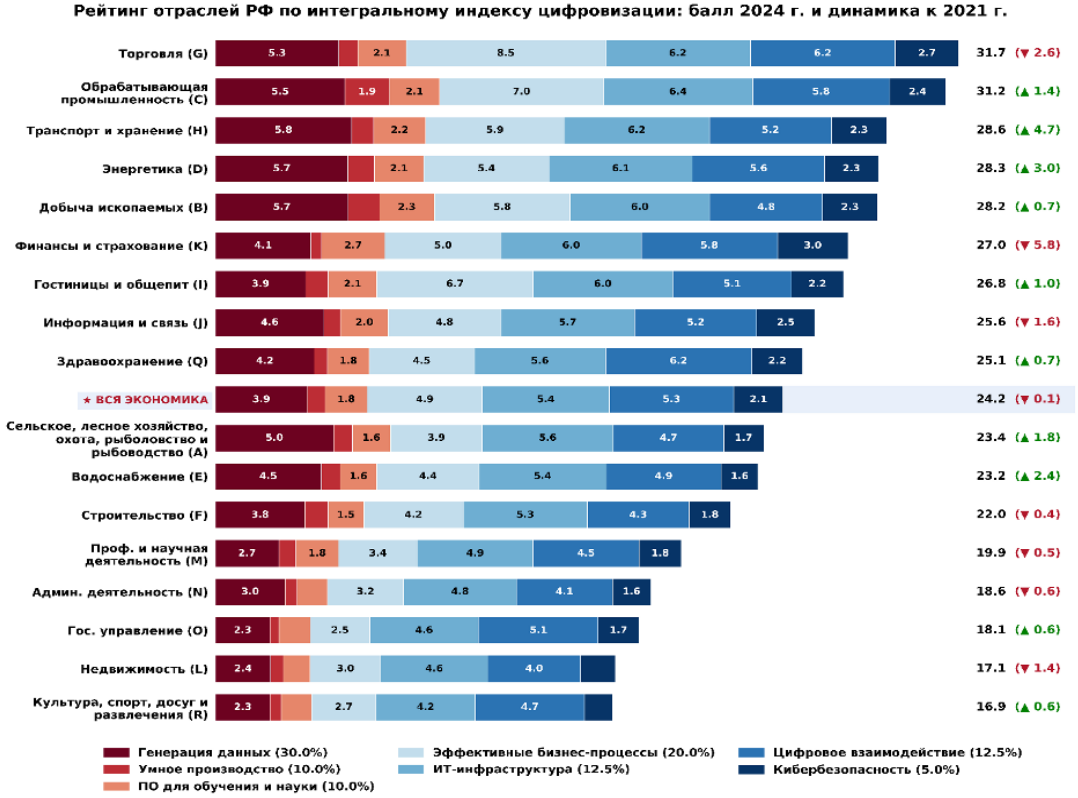


Рисунок 4. Отраслевой рейтинг по уровню цифровизации по итогам 2024 года

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Сопоставление рейтингов по охвату цифровых инструментов на рис.1 и итоговому индексу на рис. 4 позволяет выявить отрасли, которые могут казаться лидерами за счет массового внедрения базовых технологий при неразвитых системных и прогрессивных ступенях цифровизации.

По интегральному индексу торговля (31.7) и обрабатывающая промышленность (31.2) – два бесспорных лидера цифровизации. Финансовый сектор по интегральному индексу уже не занимает третье место, как по охвату цифровых инструментов. Отрасли «транспорт и хранение» (28.6) и «энергетика» (28.3) совершили качественный рывок за 4 года, очень интересно, насколько это отразится на показателях эффективности этих отраслей. К видам деятельности, достигшим уровня цифровизации выше общеэкономического в 2024 году, относятся также добывающая промышленность (28.2), финансовый сектор (27.0), гостиницы и общепит (26.8), информация и связь (25.6) и здравоохранение (25.1). Ниже общеэкономического значения индекса цифровизации расположились отрасли сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (23.4), водоснабжение (23.2), строительство (22.0), профессиональная и научная деятельность (19.9), административная деятельность (18.6), государственное управление (18.1), недвижимость (17.1), культура, спорт, досуг и развлечения (16.9).

Вид деятельности «транспортировка и хранение» показал рекордный прирост индекса цифровизации (+4.7) в 2024 году относительно 2021 года за счет всех блоков, кроме «генерация данных», в особенности значимый вклад внесли эффективные бизнес-процессы (+2.33), ПО для науки и обучения (+0.88) и цифровое взаимодействие (+0.60 пункта). Виды деятельности энергетика (+3.0), водоснабжение (+2.64), первичный сектор АПК (+1.8), деятельность гостиниц и предприятий общественного питания (+1.0) показали прирост интегрального индекса цифровизации за счет увеличения интенсивности блоков эффективные бизнес-процессы и ПО для науки и обучения.

Таким образом, драйверами цифровизации за исследуемые 4 года стали корпоративные информационные системы и программные средства для научных исследований и обучения.

Заключение

Сконструированный индекс цифровизации отраслей российской экономики планируется использовать не только для дескриптивного анализа и определения текущего статуса цифровой трансформации на общеэкономическом и отраслевом уровнях. Следующим этапом исследования планируется провести валидацию индекса на независимых метриках, проверить его чувствительность к структурным различиям между реальным сектором и сферой услуг. В случае подтверждения измерительной силы индекса и его критериальной пригодности можно будет приступить к эконометрическому моделированию оценки эффектов цифровизации на экономический рост и производительность. Прозрачный подход и доступность данных разработанного индекса позволяют обеспечить регулярный мониторинг динамики цифровизации и проверки различных гипотез, что является необходимым условием управления технологической трансформацией российской экономики.

Литература

1. Васильковский С.А., Ковалева Г.Г., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Зинина Т.С., Рудник П.Б. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы, Цифровая экономика, 18.10.2022, ИСИЭЗ НИУ ВШЭ (issek.hse.ru).
2. Симонов С. Г. Экономико-социологический анализ рынка кибербезопасности как фактора устойчивой динамики хозяйственной жизни российского общества / С. Г. Симонов, М. А. Хаматханова, И. В. Лысенко. DOI 10.31660/1993-1824-2025-3-92-108 // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2025. № 3. С. 92-108.
3. Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг (итоги статнаблюдения по ф. № 3-информ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/statistics/science.
4. Acemoglu D., Restrepo P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. // American Economic Review. 2018. Vol. 108, No. 6. P. 1488–1542. DOI: 10.1257/aer.20160696
5. Brynjolfsson E., Hitt L.M. Computing Productivity: Firm-Level Evidence. 2003. SSRN: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.290325.
6. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. // New York, NY: W.W. Norton & Company. 2014. 306 P. ISBN: 978-0-393-23935-5
7. Brynjolfsson E., Mitchell T. What can machine learning do? Workforce implications. // Science. 2017. 358(6370), 1530–1534. DOI: 10.1126/science.aap8062
8. Calvino F. et al. A taxonomy of digital intensive sectors. // OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2018. No. 2018/14. OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f404736a-en.
9. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022: Methodological Note. 2022. https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/.
10. Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K.J. A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence // Journal of Economic Perspectives. 2008. Vol. 22, No. 1. P. 3-24. DOI: 10.1257/jep.22.1.3.
11. OECD. The OECD Going Digital Measurement Roadmap 2026 // OECD Digital Economy Papers. 2026. No. 382, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/b455e132-en.
12. OECD/European Union/EC-JRC. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide // OECD Publishing. 2008. Paris, https://doi.org/10.1787/9789264043466-en.
13. Oliner S.D., Sichel D. E., Stiroh K. J. Explaining a Productive Decade // FEDS Working Paper. 2007. No. 2007-63, SSRN: https://ssrn.com/abstract=1160248.
14. Rogers E. M. Diffusion of innovations // 3rd ed. New York, London: Free Press, Collier Macmillan. 1983. 453 P. ISBN 0-02-926650-5.

References in Cyrillics

1. Vasil'kovskii, S.A., Kovaleva, G.G., Abdrakhmanova, G.I., Vishnevskii, K.O., Zinina, T.S., Rudnik, P.B. Indeks tsifrovizatsii otraslei ekonomiki i sotsial'noi sfery. Tsifrovaia ekonomika, 18.10.2022. ISSEK NIU VShE (issek.hse.ru).
2. Simonov, S.G. Ekonomiko-sotsiologicheskii analiz rynka kiberbezopasnosti kak faktora ustoichivoi dinamiki khoziaistvennoi zhizni rossiiskogo obshchestva / S.G. Simonov, M.A. Khamatkhanova, I.V. Lysenko. DOI: 10.31660/1993-1824-2025-3-92-108. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Sotsiologiia. Ekonomika. Politika, 2025, No. 3, pp. 92–108.
3. Svedeniia ob ispol'zovanii tsifrovykh tekhnologii i proizvodstve sviazannykh s nimi tovarov i uslug (itogi statnablyudeniya po f. No. 3-inform) [Electronic resource]. Available at: https://rosstat.gov.ru/statistics/science.

Елена Юрьевна Иноземцева, аспирант, Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
ORCID: 0000-0003-2724-7196
inozemtsevaey@my.msu.ru,

Ключевые слова
цифровая экономика, индекс цифровизации, цифровой капитал, отраслевая гетерогенность.

Inozemtseva Elena Yurievna. Sectoral Digitalization Index: construction based on Russian data

Keywords
digital economy, digitalization index, digital capital, sectoral heterogeneity.
JEL classification: C3, C4, C5, O11, O12, O4
DOI 10.34706/DE-2026-05-01

Abstract
Quantification of digitalization remains current issue and requires measuring instruments that are sensitive to the structural features of the economic system. The article presents a methodology for constructing an index of digitalization of industries based on Rosstat data (form No. 3-inform) for 2021-2024. The index aggregates seven functional blocks, sub-indexes, grouped into three evolutionary levels: basic, system and progressive, reflecting the hierarchy of digital maturity. The internal consistency of the subindexes was verified by the principal component method. The developed digitalization index in its current form is a diagnostic tool for annual monitoring of the digital transformation of economic sectors. A descriptive analysis of 2021 and 2024 showed that aggregated economic sectors do not differ in terms of technology availability at the basic level of digitalization. Deep gaps, although narrowed in 4 years, are observed in the coverage of the use of corporate information systems. It was discovered that data-driven remains the most problematic area of digital transformation by the end of 2024, and progressive level of digital maturity makes the maximum contribution to maintaining cross-sector heterogeneity. We have found the impact of scale on the quality of digital capital in trade and finance sectors: an increase in the number of companies has led to a blurring of the digital profiles of mentioned sectors, as players with fewer primary digital capital have entered the market. In sectors with negative dynamics in the number of companies using digital technologies, a qualitative leap was discovered at different levels of digital maturity, i.e., withdrawal from the market is typical for companies with less digital capital. The trajectory of intensive scaling, in which the growth of companies was accompanied by an increase in system and progressive levels of digitalization, was revealed in the manufacturing and mining industries, as well as in healthcare. The corporate information systems and software tools for scientific research and training have become the main drivers of digitalization over the years under study. Using the index at a more detailed level of aggregation will better reveal intra-sector heterogeneities.