

Цифровая экономика: теория и практика

Digital economy: theory and practice

Обзорная статья

УДК 65.011.56

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17101>



ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ АСПЕКТОВ СИСТЕМО-КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

К.В. Фролов , А.В. Бабкин , А.К. Фролов  

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

 frolov_ak@spbstu.ru

Аннотация. Цифровизация, явление, которое продолжает активно развиваться в мире, сталкивается с отсутствием четкого, методологически консолидированного определения в литературных источниках. Несмотря на его долгий путь развития, понятие цифровизации и тесно связанного с ним термина «цифровая трансформация» на сегодняшний день не имеют единого, научно-прикладного определения. В одной из статей приводится следующее определение цифровизации: «Цифровизация – это о системах взаимодействия и системах понимания оцифрованных данных». В этом контексте также упоминается интерпретация Гартнера, где под цифровизацией понимается воздействие на бизнес-модель компании и её эффективность. Авторы статьи предлагают более полное определение понятий «цифровизация», а также «цифровая трансформация» (которые неразрывно связаны друг с другом), основанное на базовых понятиях системно-кибернетической теории и общей методологии архитектуры предприятия. Отсутствие четкого определения цифровизации не препятствует её развитию, поскольку понятие интуитивно понятно, и специалисты находят общий язык. Тем не менее, отсутствие логически структурированного подхода к определению данного понятия и смежных терминов является препятствием для развития методологии, таксономий и коммуникации между специалистами. Это влияет на скорость, эффективность и безопасность развития цифровизации и связанных с ней направлений в науке и инженерии. Решение этой проблемы станет ключевым фактором для более успешного и устойчивого развития цифровизации в будущем. Вниманию читателя предлагается подход, основанный на анализе сложившейся практики автоматизации в его эволюционном аспекте, выполненный с привлечением базовых понятий системно-кибернетической теории, общей методологии архитектуры предприятия (Enterprise Architecture). Анализ цифровизации с использованием упомянутых инструментов поможет сформировать научно обусловленный, структурированный взгляд на данное понятие и сформулировать некоторые элементы таксономии в этой области. Применяя полученный метод, авторами предложено понятие «цифровизация», а также «цифровая трансформация» (которая неразрывно связана с предыдущим понятием). В статье авторы ограничили область, в которой анализируется цифровизация, корпоративным сектором.

Ключевые слова: цифровизация, архитектура предприятия, прикладные системно-кибернетические знания, таксономия цифровой сферы, корпоративный сектор

Благодарности: Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

Для цитирования: Фролов К.В., Бабкин А.В., Фролов А.К. (2024) Понятие и сущность цифровизации и цифровой трансформации на основе фундаментальных и прикладных аспектов системно-кибернетической теории. Π-Economy, 17 (1), 7–26. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17101>



CONCEPT AND ESSENCE OF DIGITALIZATION AND DIGITAL TRANSFORMATION BASED ON FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS OF THE SYSTEMS-CYBERNETIC THEORY

K.V. Frolov , A.V. Babkin , A.K. Frolov  

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

✉ frolov_ak@spbstu.ru

Abstract. Digitalization, a phenomenon that continues to actively develop in the world, is faced with the lack of a clear, methodologically consolidated definition in literary sources. Despite its long development path, the concept of digitalization and the closely related term “digital transformation” currently do not have a single scientific and applied definition. One of the articles provides the following definition of digitalization: “Digitalization is about the systems of interaction and the systems of understanding digitized data”. In this context, Gartner’s interpretation is also mentioned, where digitalization refers to the impact on the company’s business model and its effectiveness. The authors of the article propose a more complete definition of the concepts of “digitalization” and “digital transformation” (which are inextricably linked to each other), based on the basic concepts of systems-cybernetic theory and the general methodology of enterprise architecture. The lack of a clear definition of digitalization does not hinder its development, since the concept is intuitively understandable, and specialists find a common language. Nevertheless, the lack of a logically structured approach to the definition of this concept and related terms is an obstacle to the development of methodology, taxonomies and communication between specialists. This affects the speed, efficiency and security of the development of digitalization and related areas in science and engineering. Solving this problem will be a key factor for a more successful and sustainable development of digitalization in the future. The reader is offered an approach based on the analysis of the current practice of automation in its evolutionary aspect, performed using the basic concepts of systems-cybernetic theory, the general methodology of enterprise architecture. The analysis of digitalization using these tools will help to form a scientifically based, structured view of this concept and formulate some elements of taxonomy in this area. Applying the obtained method, the authors proposed the concept of “digitalization”, as well as “digital transformation” (which is inextricably linked with the previous concept). In the article, the authors limited the area in which digitalization is analyzed to the corporate sector.

Keywords: digitalization, enterprise architecture, applied systems and cybernetic knowledge, taxonomy of the digital sphere, corporate sector

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01316 “Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice”, <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

Citation: Frolov K.V., Babkin A.V., Frolov A.K. (2024) Concept and essence of digitalization and digital transformation based on fundamental and applied aspects of the systems-cybernetic theory. *П-Economy*, 17 (1), 7–26. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17101>

Введение

Актуальность исследования

Вычислительные машины начали активно использоваться с 1960-х годов и тогда в литературе уже использовался термин digitization (оцифровка), но никакого отношения к современной семантике «цифровизации» он не имел. Несмотря на то, что цифровое представление данных уже тогда было очевидно для всех, кто имел хоть какое-то отношение к вычислительной технике, до первого упоминания цифровизации прошло более 30 лет. В 1995 году специалистом из Массачусетского университета Николасом Негропonte был предложен термин «цифровая экономика»,



которым он обозначил технологическую возможность уменьшения транзакционных издержек за счет использования коммуникационных возможностей интернета, реализуемых за счет обмена данными [1]. По другим источникам первое упоминание о цифровой экономике сделал канадский предприниматель и консультант Дон Тэпскотт в своей книге «Цифровая экономика» [2]. Прошло несколько лет, прежде чем цифровизация как термин стал широко используемым, он даже получил множество определений, каждое из которых раскрывает определенный аспект явления, например, определение, авторство которого признается за Всемирным Банком: «Цифровая экономика – система экономических, социальных и культурных отношений, основанных на использовании цифровых информационно-коммуникационных технологий»¹.

Однако, несмотря на активное использование термина «цифровизация» в современной литературе, отсутствие общепризнанного научно-прикладного определения данного понятия и его связанного термина «цифровая трансформация» остается заметным. Эта недостаточная четкость методологической базы исследования оказывает влияние на эффективность и безопасность развития цифровизации, а также на прозрачность коммуникации и взаимодействия специалистов в данной области. В связи с этим возникает потребность в разработке структурированного подхода, который позволит выработать общепонятное определение цифровизации и ее компонентов, особенно в применении к корпоративному сектору. Для достижения этой цели необходимо обратиться к анализу эволюции практики автоматизации, системно-кибернетической теории и методологии архитектуры предприятия. Данный подход позволит создать основу для формирования устойчивого взгляда на цифровизацию и ее роль в современном бизнесе. Важно отметить, что анализ будет сфокусирован на корпоративном секторе, где цифровизация играет значительную роль в трансформации бизнес-процессов.

Литературный обзор

Несмотря на широкое использование термина «цифровизация», в настоящее время не сложилось единого понимания того, что представляет собой «цифровая экономика». Это отражает анализ определений, приведенных в научной литературе, в документах стратегического планирования, законодательных актах и иных источниках. В частности в Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. N 203, программе «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. N 1632, а также зарубежной практике (Всемирный банк, Организация экономического сотрудничества и развития (36 стран) и др.) под цифровой экономикой понимают следующее:

- 1) «глобальная сеть экономических и социальных видов деятельности, которые поддерживаются благодаря таким платформам, как интернет, а также мобильные и сенсорные сети» (Правительство Австралии);
- 2) «экономика, которая главным образом функционирует за счет цифровых технологий, особенно электронных транзакций, осуществляемых с использованием интернета» (Оксфордский словарь);
- 3) «рынки на основе цифровых технологий, которые облегчают торговлю товарами и услугами с помощью электронной коммерции в Интернете» (ОЭСР);
- 4) «система экономических, социальных и культурных отношений, основанных на использовании цифровых информационно-коммуникационных технологий (Всемирный банк);
- 5) «ведение бизнеса на рынках, опирающихся на интернет и/или Всемирную паутину» (BCS, Великобритания);
- 6 «экономика, способная предоставить высококачественную ИКТ-инфраструктуру и мобилизовать возможности ИКТ на благо потребителей, бизнеса и государства» (Исследовательский центр журнала «Economist» и компания IBM);

¹ World Development Report 2016: Digital Dividends (2016) The World Bank. [online] Available at: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr>

7) «хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг» (Стратегия развития информационного общества РФ на 2017–2030 годы).

Сложности в формировании понятия и сущности цифровой экономики обусловлены ее особенностями и отличительными чертами по сравнению с традиционной индустриальной экономикой.

Особенности цифровой экономики [27–31]

Формирование цифровой экономики, цифровизация бизнес-процессов, цифровая трансформация промышленных предприятий и сервисных организаций обуславливает возникновение ряда особенностей:

1. Повышение эффективности экономических процессов. Увеличивая производительность труда (на 45–55%), применение новых технологий одновременно сокращает расходы на обслуживание оборудования (на 10–40%) и время простоя техники (на 30–50%), повышает показатели качества (на 10–20%) и уменьшает складские расходы (на 20–50%). Срок вывода новых товаров на рынок сжимается на 20–50%, точность прогнозирования продаж повышается до уровня 85% и выше.

2. Конкурентные преимущества. Поведение хозяйствующего субъекта становится массовым способом получения конкурентного преимущества, которое достигается за относительно короткий срок и удерживается относительно долго: рынок нового товара сегодня может быть создан за 3–10 лет и может удерживаться в почти монопольном состоянии десятилетие.

3. Изменение структуры занятости. Формирование и внедрение в экономику новых цифровых технологий приведет к сокращению рутинных рабочих мест и появлению вакансий в новых высокотехнологичных областях экономики.

4. Перераспределение экономического влияния стран на мировых рынках. С развитием «цифровой экономики» (прежде всего информационных технологий и сети Интернет) массовый характер приобретает конкуренция, которая экономистами середины XX века характеризовалась как «конкуренция за рынок» и, которая противопоставлялась ими «конкуренции на рынке» как явлению широко распространенному и общеизвестному. «Конкуренция за рынок» сводится к стремлению создать и ввести в оборот принципиально новый товар, который сделал бы ненужным ряд существующих товаров, функционально сходных с новым товаром, но проигрывающих ему по всем качественным и количественным характеристикам (иногда — просто несравнимый с существующими товарами). В настоящее время осуществляется переход от конкуренции на рынках к конкуренции за рынки.

5. Синергетический эффект. Существенное изменение воздействия барьеров входа (например, наличия на рынке сетевого эффекта) на конкуренцию на товарном рынке.

6. Развитие цифровых платежных систем и электронных денежных средств.

7. Активное расширение сфер реализации цифровой экономики. В настоящее время можно выделить наиболее развитые следующие: электронный бизнес (цифровые платформы): интернет-банкинг; образование; медицина; социальная сфера; промышленность — концепция Индустрия; телекоммуникации; информационные системы и технологии.

Отметим, что наличие сетевого эффекта буквально до начала нынешнего десятилетия XXI в. рассматривалось как почти непреодолимый барьер для входа конкурентов на рынок и даже давало возможность относить рынок к естественным монополиям, на котором частная экономическая власть рассматривалась в качестве неизбежного зла. Новые информационные технологии практически устраняют этот барьер: во-первых, они создают возможность конкуренции сетей, поскольку делают нулевой стоимость скоординированного перехода пользователя и группы его



абонентов из одной сети в другую сеть; во-вторых, они позволяют одному пользователю одновременно пользоваться несколькими сетями.

Отличительные черты цифровой экономики [27, 32, 33]

1. Виртуальность цифровой экономики. Цифровая экономика может существовать, только в виртуальном мире, представляя собой набор электрических сигналов, и данных, хранимых на различных носителях информации.

2. Зависимость от телекоммуникационных сетей и компьютерной техники. Данное отличие является ключевым между цифровой экономикой и реальной. При исчезновении телекоммуникационных сетей и компьютерной техники цифровая экономика становится невозможна, так как на их базе и строятся все формы виртуальной хозяйственной деятельности.

3. Непосредственное взаимодействие производителей и потребителей. Развитие информационных и коммуникационных технологий позволяет «состыковать» производителя с каждым конечным потребителем. Оказывается, возможным сократить длинные цепочки посредников, в том числе и институциональных за счет формирования цифровых платформ.

4. Персонализированность. Цифровая экономика позволяет производить товары и оказывать услуги, которые отвечают требованиям и нуждам не среднестатистического потребителя, а каждого конкретного клиента.

5. Высокие темпы роста. Благодаря Интернету товары и услуги стали более доступны. Это привело к востребованию продуктов и росту развития цифровой экономики.

При формировании цифровой экономики можно выделить следующие тенденции (направления развития), которые также отражают современные особенности цифровой экономики [30, 35]:

В технологичном аспекте:

- социальные сети (социальные медиа);
- развитие и практическое применение мобильных технологий;
- бизнес-аналитика;
- использование новых современных технологий – облачные вычисления, большие данные, интернет вещей, искусственный интеллект, дополненная реальность и т.д.;
- информационная безопасность.

В правовом аспекте:

- совершенствование нормативно-правовой и законодательной базы (пример, применение криптовалют, цифровых финансовых активов, использование искусственного интеллекта и др.).

В институциональном:

- регулирование цифровой экономики;
- функции государства;
- органы \ институты управления цифровой экономикой.

В инфраструктурном:

- неравномерность развития отраслевых цифровых систем (банковский сектор, медицина, образование, транспорт – быстро развиваются; машиностроение, металлургия, ЖКХ, строительство – более медленно);
- региональные цифровые системы;
- системы и сети связи – разработка структуры, новые технологии (5 G);
- электронные услуги органов законодательной и исполнительной государственной власти и управления;
- производство телекоммуникационного и компьютерного оборудования;
- национальные базовые центры хранения, обработки и преобразования информации;
- центры передачи информации, – протоколы обмена данными;
- программное обеспечение.

Перечисленные особенности, отличительные черты, тенденции развития цифровой экономики отражают проблемы формирования и развития цифровой экономики в России, которые также сказываются на формировании единого терминологического аппарата [27, 30, 35]:

1. Отсутствие в полной мере разработанной законодательной и нормативно-правовой базы.
2. Необходимость формирования институциональной инфраструктуры.
3. Значительный разрыв в уровне развития и применения цифровых технологий в различных отраслях и регионах экономики (цифровое неравенство).
4. Информационная безопасность государства, бизнеса, граждан.
5. Структурные изменения и последствия внутреннего и внешнего рынков труда.
6. Система подготовка квалифицированных кадров.

С учетом изложенного выделим следующие определения «цифровая экономика»:

Цифровая экономика представляет собой хозяйственную деятельность, ключевым фактором производства в которой являются данные в цифровой форме, и способствует формированию информационного пространства с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений, развитию информационной инфраструктуры РФ, созданию и применению российских ИТ технологий, а также формированию новой технологической основы для социальной и экономической сферы²;

в узком смысле слова [27, 30]

1) Это тип экономики, характеризующийся активным внедрением и практическим использованием цифровых технологий сбора, хранения, обработки, преобразования и передачи информации во всех сферах человеческой деятельности.

Цифровая экономика — это то, как мы создаем, передаем, собираем, храним данные, защищаем их, а самое главное — анализируем и на основе этих данных принимаем такие решения, которые делают нашу экономику эффективнее.

в широком смысле слова [27, 30]

Это система социально-экономических и организационно-технических отношений, основанных на использовании цифровых информационно-телекоммуникационных технологий.

Изложенные понятия, отражающие сущность цифровой экономики, ее особенности, отличительные черты и проблемы реализации позволяют авторам перейти к обсуждению вопроса о терминологии основных дефиниций цифровой экономики во временной динамике: «оцифровка» (пер. как «digitization») и «цифровизация» (пер. как «digitalization») — так как нам важно показать постепенное разделение смыслов этих понятий с течением лет, а также «цифровая трансформация» (пер. как «digital transformation») — так как оно неразрывно связано с понятием «цифровизация» в рамках перехода к новому технологическому укладу.

Первое упоминание рассматриваемых понятий появляется в 60-х годах вместе с появлением мейнфреймов, популяризированных благодаря открытой архитектуре IBM. Тогда под «оцифровкой» понималось преобразование аналоговых сигналов в цифровые, как например компрессия и преобразование речи в цифровой формат для дальнейшего ее анализа [3]. В понятие «цифровизация» вкладывался следующий смысл: преобразование аналоговых систем управления в цифровые, что приводило к получению гибридных аналогово-цифровых систем. Примером такого использования служит использование данного понятия в статье, описывающей гибридную систему управления пусками боеголовок [4]. Под «цифровой трансформацией» понималось преобразование аналоговых сигналов в цифровые и их последующая обработка, к примеру — увеличение точности ядерной спектроскопии с помощью преобразования полученных результатов в цифровой вид [5]. Как мы видим, рассматриваемые понятия используются в основном в контексте научного и военного использования. Вероятно потому, что данным группам был упрощен доступ к технологиям мейнфреймов.

² Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р

С приходом 80-х годов появляются персональные рабочие станции, к примеру IBM PC, появляется World Wide Web, формируются локальные сети. Это создает условия для распространения компьютерных технологий в новых отраслях, а значит им находят новые применения. «Оцифровка» теперь используется в основном в контексте переноса аналоговой информации в цифровую и ее хранение на новых типах носителей, вроде перевода музыкальных композиций и фильмов на цифровые носители [6]. Под «digitalization» объединены разные понятия: это и развертывание локальных сетей [7], и оцифровка телевизионного сигнала [8], и массовая оцифровка слепков зубов граждан на национальном уровне [9]. Как мы видим, смысл обоих понятий сливается. «Цифровая трансформация» все так же применяется для описания преобразования аналогового сигнала в цифровой, как например запись сигнала на кассеты или использование цифровой обработки сигнала для создания новых музыкальных инструментов [10]. Понятия чаще упоминаются в применении к гражданским отраслям, и все так же в науке.

В 2000-х годах начинается бум доткомов — появляются новые цифровые сервисы, предоставляемые напрямую через Интернет. В литературе начинается подробное изучение процессов и методов оцифровки. «Оцифровка» определяется как «...конверсия объекта — напечатанного текста, манускрипта, изображения, или звука, пленки и видеозаписи — из одного формата (обычно печатного или аналогового) в цифровой» [11] и в основном применяется в контексте оцифровки текстовой информации [12]. «Цифровизация» рассматривается как «интеграция цифровых технологий в повседневную жизнь и в основном изучается в глобальном контексте [13]. «Цифровая трансформация» начинает использоваться в привычном для нас смысле — как трансформация и автоматизация бизнес-процессов с применением цифровых технологий [14, 15].

2015–2020 годы знаменуют активную фазу новой, зародившейся в 2011 году в Германии, четвертой промышленной революции и последующий переход к формированию Индустрии 5.0 [35, 36]. Начинается роботизация, цифровые системы автономно взаимодействуют друг с другом — появляется Интернет Вещей. Все больше применений находят методам машинного обучения (ИИ). Появляется четкая граница между «оцифровкой» и «цифровизацией» [16]. Ее описывают следующим образом: «оцифровка влечет за собой переход от аналоговых данных к цифровым для оптимизации существующих процессов, таких как построение операционной системы или внедрение ERP-систем посредством стандартизированного процесса, в котором известно конечное состояние. Напротив, цифровизация относится к предложениям цифровой ценности, которые требуют постоянного и итеративного тестирования и пересмотра предложений на рынке, поскольку конечное состояние неизвестно» [17]. Однако в части исследований термин «оцифровка» используют несколько по-другому, не проводя явного различия с «цифровизацией» [18]. Хотя «цифровизация» и связана с определением «Digital Economy» (пер. Цифровая экономика) с 1990х, но до сих пор не получила устоявшееся определение понятие [19, 34]. Понятие «Цифровая трансформация» также используется в литературе длительное время, но так и не приобрело собственного понятия [20, 25, 37].

Проведенный анализ, а также отмеченные выше аспекты показали, что существующие литературные источники не предоставляют стройного и непротиворечивого научно-прикладного определения цифровизации и связанного с ней термина «цифровая трансформация». Это обуславливает необходимость проведения исследований по определению данных дефиниций, а также позволяют сформулировать объект, предмет, цель и задачи исследования.

Объектом исследования является терминологический аппарат в области цифровизации, цифровой трансформации экономических агентов цифровой экономики.

Предмет исследования — процессы цифровизации и цифровой трансформации, таксономии цифровых сервисов, архитектурных особенностей их реализации в ИТ ландшафте корпоративных приложений в терминах и контексте системно-кибернетических представлений.

Цель исследования заключается в определении понятий и сущности «цифровизация» и «цифровая трансформация» в контексте развития корпоративного сектора для улучшения коммуникации между специалистами, а также для унификации в создании методологических подходов.

Задачи исследования:

уточнить терминологический аппарат в области цифровизации и цифровой трансформации экономических агентов;

предложить подход к определению цифровизации, основанный на системно-кибернетической теории и архитектуре предприятия. Для формирования предложенного подхода предлагается опираться на практику автоматизации и эволюционный аспект автоматизации.

Методы и материалы

Исследование опирается на Архитектуру предприятия (Enterprise Architecture, EA), а именно – представление, предложенное NIST (National Institute of Standards and Technology, США). Здесь мы не ставим перед собой задачу глубокого погружения в описание приведенной архитектуры; достаточно отметить наиболее важные элементы, имеющие отношение к достижению поставленной нами цели. Для более подробного описания можно обратиться к многочисленным источникам, например, к стандарту ISO 15704. Также мы применяем положения системно-кибернетической теории.

Результаты и обсуждение

Краткое описание предприятия в терминах Архитектуры предприятия в докомпьютерный период

Между условными 1960м и 1995м годами существует множество предприятий, в деятельности которых используется вычислительная техника с прикладным программным обеспечением (ПО) и применимым термином является «оцифровка», но цифровизация как термин не употребляется.

Попробуем описать предприятие в «доцифровизационную» эпоху (до 1995 года) в терминах Архитектуры предприятия, которая, к слову, начала формироваться как прикладное направление только в середине 80-х годов XX века. Цель такого упражнения достаточно проста: EA является общепризнанным, научно-прикладным инструментом, методологически стройно позволяющим описать предприятие, в архитектуре которого присутствует программная компонента, к которой мы будем апеллировать в поисках цифровизации.

Если следовать наиболее общему подходу описания архитектуры предприятия, то она может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 1 (без уровней, имеющих отношение к автоматизации, о которых речь пойдет позже).

Отметим, что представление архитектуры предприятия, предложенное NIST, и которое мы используем, не может претендовать на абсолютную истину: существуют альтернативные представления референтного предприятия, однако, практический опыт общения с бизнес заказчиками, со студентами и учеными коллегами показывает, что предложенная NIST конструкция является наиболее сбалансированной с точки зрения универсальности, наглядности и соответствия методологическим принципам Архитектуры предприятия, раскрываемым в альтернативных источниках.

Мы оставляем за рамками данной работы детали содержания каждого из уровней, сосредоточившись лишь на элементах, имеющих, по нашему мнению, непосредственное отношение к обозначенной теме.

Несмотря на то, что данная конструкция соответствует статическому слепку абстрактного предприятия, рассмотрение его как динамической системы, т.е. системы, которая удовлетворяет принципу причинности [21], соответствует природе реального бизнеса. Являясь динамической системой, такая система стремится сохранить свою устойчивость – комплексное свойство системы сохранять основные характеристики, свое поведение в условиях возмущающих воздействий



Рис. 1. Представление предприятия в терминах архитектуры предприятия (без автоматизации)
 Fig. 1. Enterprise representation in terms of enterprise architecture (without automation)

различного рода [22]. Мы будем исходить из того, что экономическая эффективность предприятия является следствием достижения им целевых уровней устойчивости.

Для достижения целевой устойчивости предприятие организует слой управления, который в управленческой иерархии получил в терминологии Архитектуры предприятия (согласно NIST) название «бизнес архитектуры». В западной традиции с этим слоем связывают организацию так называемого C-Level уровня управления: CFO (Chief Financial Officer), CEO (Chief Executive Officer), CIO (Chief Informational Officer) и т.д. Задача этого уровня управления – обеспечить принятие управленческих решений, имеющих стратегический, долгосрочный характер, принимая во внимание текущие и будущие неопределенности, имеющие различную природу и анализируемые различными методами, например, сценарного моделирования. Характер взаимодействия между элементами, формирующими содержание данного уровня – большая степень свободы в выборе формата и порядка информационного обмена; важно, что именно на этом уровне ставится задача долгосрочного консенсус планирования, суть которого соответствует принципу Парето: «Всякое изменение, которое никому не приносит убытков, а некоторым людям приносит пользу, является улучшением. Значит, признаётся право на все изменения, которые не приносят никому дополнительного вреда». Для измерения пользы или вреда используются показатели, закрепляемые за каждым из элементов (C-Manager) бизнес-архитектуры.

На следующем уровне (согласно структуре, предложенной NIST) – информационной архитектуры – решается задача достижения частных показателей эффективности деятельности, установленной для элементов этого уровня вышестоящим руководителем (C-Manager). Например, для представителя уровня бизнес-архитектуры, отвечающего за производство, подчиненными элементами могут быть начальник отдела контроля качества, главный технолог, начальник отдела производственной логистики, главный энергетик и т.д. – состав и наименование позиций на данном уровне произволен и зависит как от индустриальной специфики, так и от специфики конкретного предприятия. Элементы данного уровня обмениваются с информацией друг с другом, следуя установленному регламенту (кто, с кем, о чем, когда, в каком формате), докладывают о результатах своим руководителям. На данном уровне осуществляется планирование в среднесрочном горизонте, поскольку многокритериальная суть планирования сохраняет свою актуальность, здесь также применим принцип Парето, как и на уровне бизнес-архитектуры.

На уровне ниже в управленческой иерархии – архитектуры информационной системы – здесь реализуются четкие предписания, утвержденные руководством с уровня информационной архитектуры. В бизнес-практике такие предписания получили устоявшийся термин бизнес-процесс:

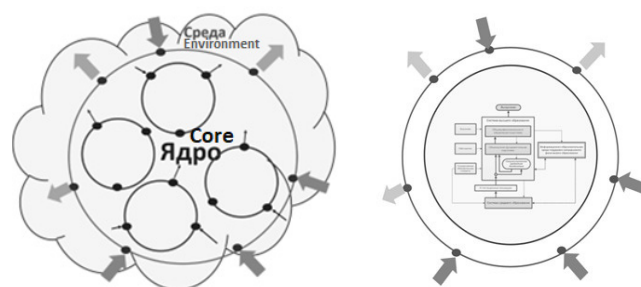


Рис. 2. Представление уровня информационной архитектуры в терминах системно-кибернетической теории, акцент на детерминизм логики исполнения бизнес-процесса

Fig. 2. Presentation of the level of information architecture in terms of systems-cybernetic theory, emphasis on the determinism of the logic of business process execution

несколько связанных работ или процедур, в совокупности реализующих конкретную цель текущей деятельности в рамках существующей организационной структуры [23]. Возражения к сути наполнения содержанием данного уровня отнесем к терминологической двусмысленности: в настоящее время с информационной системой, как правило, связывают организацию деятельности, в которой компьютерная техника используется по умолчанию. Возразим, используя простой аргумент: представим себе, что мы, вооруженные современным знанием, отправились на машине времени лет на 80 назад, в докомпьютерную эпоху, изучать работу большого предприятия. Мы увидим четкую работу исполнителей операций, супервизоров и учетчиков, между которыми установлено четкое информационное взаимодействие, задачей которого является обеспечение исполнения бизнес-процесса.

Отметим несколько существенных для темы работы замечаний, имеющих непосредственное отношение к данному уровню:

- Логика исполнения действий в рамках бизнес-процессов детерминирована: исполнителям операций выдаются четкие инструкции, регламентирующие их действия;
- Несмотря на заявленный детерминизм, неопределенность всегда имеет место при исполнении бизнес-процессов. Задача управления – минимизировать риски от наступления событий, которые не учтены в плане, но отражены в сценарных вариантах исполнения бизнес-процесса в виде вариантов исполнения операций;
- В терминах системно-кибернетической теории (очень упрощенная интерпретация) логика исполнения операций бизнес-процесса соответствует решению одной из двух задач: формирования программного управления (план сформирован и мы не отклоняемся от него) или задача синтеза управления (сценарные условия сформированы, в соответствии с ними реализованы варианты бизнес процессов, каждый из которых выбирается для исполнения в зависимости от наступления событий, связанных с конкретными сценарными условиями);
- В стандарте ISO 9000 бизнес-процесс определен следующим образом: это совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы. Это определение однозначно коррелирует с фундаментальным системно-кибернетическим представлением [24], в котором в системе выделяются ядро и полюса – входные и выходные, через которые система взаимодействует со средой.

Итак, на уровне архитектуры информационной системы реализуется система бизнес-процессов, логика которых детерминирована и сформирована на основании сценарных условий, определенных с учетом факторов неопределенности, способных повлиять на исполнение бизнес-процессов. Данный слой взаимодействует с внешней средой через подмножество полюсов (входов и выходов, если использовать терминологию стандарта ISO 9000, см. рис. 2). В систему входит



подмножество подсистем, организованных таким образом, что другие подсистемы рассматриваются как элементы среды.

Для более четкого восприятия обозначенного подхода приведем пример, взяв за основу абстрактное предприятие, специализирующееся на производстве велосипедов. Процесс создания добавленной стоимости на предприятии построен как логически упорядоченная последовательность операций, объединенных в категории (проектирование изделия и технологического процесса, производственное снабжение и производство (согласно с-MES), сбытовая логистика, сервис и обслуживание производственных активов). На предприятии организован процесс распределения готовой продукции, продаж и маркетинга (исполнение процесса реализации ценности), а также обеспечивающие процессы – управление персоналом, финансами, охраной труда и окружающей среды. Элементами среды для такого предприятия являются государственные органы (требования в части налогов, охраны труда и окружающей среды, соблюдение технических регламентов, гарантии разрешения споров и т.д.), конкурирующие компании, контрагенты (поставщики материалов, товаров, услуг, покупатели), окружающая среда (землетрясения, ливни, пожары и т.п.), домашние хозяйства (продавцы рабочей силы, генераторы мнений о продукции). Взаимодействие с элементами внешней среды осуществляется как в формате, который был заранее оговорен (например, формат заказа на продажу, покупку, налоговая декларация) или имеет место взаимодействие, формат которого никак не определен (например, аналитическая записка конкурентной разведки, мнение никнейма о качестве товара, прогноз погодной обстановки и т.д.). За взаимодействие с элементами внешней среды отвечают специальные службы предприятия: налоговая служба в составе финансовой дирекции, служба технического аудита, отдел закупок, отдел продаж, конкурентная разведка и т.п. Анализируя структуру предприятия более детально, обнаружим, что для подразделений предприятия, классифицируемых как его подсистемы, элементами внешней среды могут выступать другие подразделения: например, отдел промышленной безопасности является элементом внешней среды для цеха сборки и окраски.

Архитектурное представление предприятия с уровнями автоматизации

Появление компьютерной техники в корпоративном секторе расширило модель представления деятельности компаний в терминах Архитектуры предприятия: в общей методологии архитектуры в модели NIST, представленной на рис. 3, добавилось 2 дополнительных уровня: уровень архитектуры данных и уровень ИТ архитектуры, который отражает программное обеспечение (ПО) различного назначения – от операционных систем до прикладного ПО.

Оставим за рамками данной работы содержание уровня архитектуры данных, отметив лишь, что авторы разделяют концепцию, отраженную в пирамиде DIKW по Аккоффу³. Это существенное замечание, на которое мы будем ссылаться в последующих работах.

Несколько более детально рассмотрим нижний уровень – ИТ архитектуру. Предположив, что структурная устойчивость всей архитектурной конструкции, изображенной на рис. 3, достигается при выполнении множества условий, одна из которых – структурное подобие представления подсистем, каждая из которых соответствует своему уровню Архитектуры (от верхнего – Бизнес, до нижнего – ИТ). При этом, логично предположить, что для рассматриваемой предметной области имеет место изоморфизм подсистем: действительно, логика исполнения бизнес-процесса, место которого на уровне Архитектуры информационной системы, должна поддерживаться прикладным ПО, которое закреплено за уровнем ИТ Архитектуры, но при этом состав этих уровней различается. Допустив структурное подобие подсистем, мы не ошибемся, если в качестве фундаментальной конструкции для представления ИТ архитектуры будем использовать структуру, показанную на рис. 2; в ней по-прежнему есть ядро, граница со средой и полюса. Внутри ядра логика исполнения операций детерминирована и задача ядра – поддержать исполнение операций на различных уровнях Архитектуры. Не вдаваясь в детали концептуального различия поддержки

³ Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований: учебник для адъюнктов. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. 293 с.

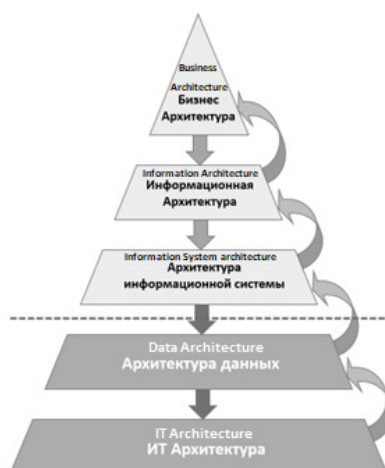


Рис. 3. Современное представление Архитектуры предприятия согласно NIST
 Fig. 3. Modern representation of the enterprise Architecture according to NIST

активностей на различных уровнях, отметим: несмотря на то, что поддержку получают все уровни, наибольшие усилия в части функционального наполнения ИТ архитектуры в «доцифровизационную» эпоху тратились на поддержку операций бизнес-процессов, соответствующих уровню Архитектуры информационной системы. Несмотря на мощный рывок в развитии ПО для корпоративных заказчиков, этот уровень по-прежнему потребляет основные усилия разработчиков корпоративного ПО.

Не будем подвергать сомнению, что цифровизация в корпоративном секторе ассоциируется с программными решениями. Попробуем проанализировать, в чем отличия этих решений в период «до цифровизации» и после ее объявления.

Итак, следуя системному представлению, показанному на рис. 2, программные компоненты ядра системы поддерживают выполнение операций бизнес-процессов, причем логика работы этих компонент детерминирована, а факторы неопределенности, неизбежные в корпоративной деятельности, учитываются при анализе сценарных условий для разработки логики программного обеспечения. При этом, несмотря на технологические различия, концептуальная идея, лежащая в основе разработки компонент ядра программных решений, осталась неизменной. А вот поддержка действий, ассоциируемых с полюсами системы (см. рис. 2), претерпела существенные изменения.

Представление уровня Программных решений в системно-кибернетических терминах

В ПО, которое мы не рассматриваем как решение с элементами цифровизации, действия на полюсах системы выполнялись, в основном, вручную или с поддержкой простых программных решений. Например, представление декларации в фискальный орган – распечатанные отчеты, ввод заказа поставщику – выходной документ заданного формата, отправляемого электронной почтой вручную, фиксация пробы для оценки качества – ввод с клавиатуры, создание нового материала в программном решении – вручную с клавиатуры. Примеров много, но общее у них одно – взаимодействие с внешней средой – вне зависимости, это внешнее окружение для всего предприятия или для подразделения внутри него – осуществляется с использованием простых средств (мышь, клавиатура, сканер с инструментами ручного ввода) при ручных операциях.

Информационное давление на бизнес и технологические возможности, позволяющие этому давлению противостоять, привели общество в цифровую эпоху. Основное изменение, которое стало характерным для ПО, ассоциируемым с цифровизацией – взаимодействие с внешней средой осуществляется с помощью нового поколения программных технологий, которые минимизируют или исключают участие в них человека – см. рис. 4.

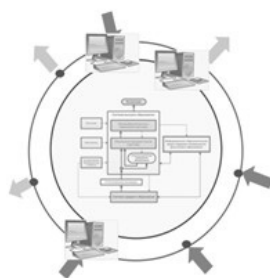


Рис. 4. Взаимодействие с внешней средой без участия человека или с минимальным его участием
 Fig. 4. Interaction with the external environment without human involvement or with minimal human involvement

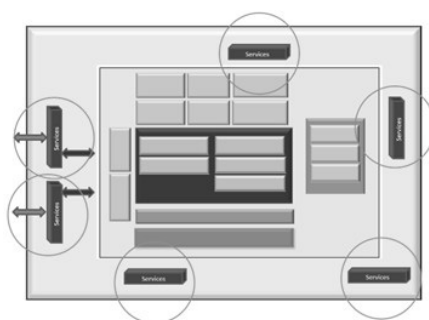


Рис. 5. Процессно-сервисный подход к представлению исходной архитектуры корпоративного ПО
 Fig. 5. Process-service approach to the presentation of the initial architecture of corporate software

Именно это имел в виду Негропonte, формулируя в 1995 г. тезис о сокращении транзакционных решений в коммуникационном звене взаимодействия предприятия с контрагентами [1], подразумевая практическое применение интернета для этих задач.

Как можно классифицировать программные решения, обеспечивающие взаимодействие с внешней средой? Очевидно, что их задачей не является непосредственная поддержка операций бизнес-процесса, эту задачу выполняют специализированные процессные компоненты ПО. Логичным было бы классифицировать такие решения как сервисы, задачей которых является расширение возможностей процессных компонент в части взаимодействия с внешней средой, см. рис. 5.

Таксономия сервисов программных решений для взаимодействия со средой

С целью предложить таксономию сервисов, полезным было бы рассмотреть классы задач, решение которых поддерживается ими. Для этого будем исходить из того, что основная задача – информационно-коммуникационная с целью расширить применение процессных компонент ПО.

Имея в виду классические задачи, выполняемые в полюсах динамической системы (см. рис. 6.), обратимся к соответствующим разделам системно-кибернетической теории.

В теории выделяются следующие классы задач:

- Идентификация информации, определение ее ценности для использования;
- Преобразование информации (уровень данных преобразует данные в информацию (по Аккоффу) и обратно) в формат, соответствующий логике ее обработки системой-получателем;
- Мониторинг информационного потока, прогнозирование его свойств и интенсивности для подготовки к будущей обработке;
- Администрирование информации с целью извлечения и обработки по запросу системы потребителя информации.



Рис. 6. Полюс системы
Fig. 6. Pole of the system

Интерпретируем каждый из предложенных классов задач, поддерживаемых сервисами, которые мы теперь будем называть цифровыми.

1. Идентификация информации, определение ее ценности для использования: интернет-технологии (к ним относится и интранет), позволяющие извлекать из общего потока только те данные, которые имеют отношение к ожидаемой получателем. Например, технологии Интернета вещей, извлекающие из общего потока данных только те данные, значение параметра в которых больше определенного уровня: температура выше порога, превышено время ожидания, понижена точность местоопределения, уменьшена вязкость рабочего тела и т.д.; игнорирование ложной информации (блокчейн).

2. Преобразование информации в формат, соответствующий логике ее обработки системой-получателем: распознавание образа (очки дополненной или виртуальной реальности, распознавание или синтез голоса, анализ текстов отзывов покупателей в массмедиа, распознавание текстов документов для обработки в системе получателя, формирование цифровых двойников.

3. Мониторинг информационного потока, прогнозирование его свойств и интенсивности для подготовки к будущей обработке: машинное обучение с целью поиска корреляций данных для получения новых ценностных характеристик (механизм, с которого снимаются данные, сломается через 3 дня – нужна реакция для уменьшения плохих последствий), необходимость расширения канала передачи данных и вычислительных мощностей ЦОД для обработки данных ввиду роста интенсивности их поступления.

4. Администрирование информации с целью извлечения и обработки по запросу системы потребителя информации: формирование озер данных для расширения массивов с целью повышения достоверности прогнозов как результат машинного обучения.

Какие классы контрагентов следует рассматривать в контексте обозначенных задач? Очевидно, что мы должны рассматривать простые классы и более сложные, представляющие собой комбинации простых сущностей:

- Человек, как элемент внешней среды (например, пациент медицинского учреждения, покупатель);
- Контрагент (предприятие-контрагент, предприятие-конкурент);
- Государство, как объект, формирующий фискальные правила;
- Природа, воздействующая на нормальный режим работы предприятия.

Определения цифровизации и цифровой трансформации

Использованные нами аргументы позволяют предложить следующее определение цифровизации, опирающееся на фундаментальные и прикладные (архитектура предприятия) положения системно-кибернетической теории:

Цифровизация в корпоративном секторе – использование программного обеспечения, архитектура которого включает компоненты для поддержки выполнения бизнес-процессов (процессные компоненты), функциональные компоненты для поддержки принятия решений и сервисы, расширяющие возможности процессных и функциональных компонент для их взаимодействия с внешней средой, минимизирующие участие человека в этом взаимодействии, которое включает коммуникативную, административную, предсказательную функции и функции безопасности.



На основании предложенного определения логичным выглядит определение цифровой трансформации:

Цифровая трансформация — процесс обновления программных решений для корпоративного сектора, в которых функции обеспечения взаимодействия процессных компонент и компонент, поддерживающих принятие управленческих решений с внешней средой выполняются программными сервисами, интегрированными с ними.

Комментарии о корпоративных и некорпоративных сервисах

В контексте предложенного подхода следует дать комментарий относительно интерпретации отдельных сервисов как корпоративных или невозможности такой интерпретации. Вполне очевидно, что сервисы, включенные в ландшафт корпоративной информационной системы и непосредственно используемые подразделениями предприятия должны рассматриваться как корпоративные сервисы. Например, такими могут быть сервисы интернета вещей для мониторинга производственного оборудования, очки дополненной реальности администратора производственной безопасности, машинное обучение для мониторинга состояния оборудования по косвенным измерениям и прогнозирование будущего состояния [26]. Может ли рассматриваться, например, сервис вызова такси как корпоративный? Наш вариант ответа — да, должен, поскольку такой сервис связывает предприятие (таксомоторную компанию) с ее клиентом. Похожие аргументы применимы к банковскому ПО, аренде транспорта, онлайн мониторинга состояния здоровья лечебным учреждением. А вот мониторинг содержимого холодильника, контроль умных устройств в доме к корпоративным сервисам не относятся, хотя и могут инициировать процессные компоненты корпоративного ПО, однако процессные компоненты не являются первичным элементом, определяющим требования к сервисам. Иными словами, сервис первичен; какое предприятие, с каким ПО будет обрабатывать потребность — решает владелец сервиса. В этом случае, несмотря на неоднозначность, мы придерживаемся позиции о классификации таких сервисов как некорпоративных. Ну а сервисы самоконтроля, карманные переводчики, несмотря на их разработку предприятием не могут считаться корпоративными без вариантов, поскольку они не предъявляют требования к обязательности использования корпоративного ИТ ландшафта.

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Уточнен терминологический аппарат в области цифровизации и цифровой трансформации экономических агентов цифровой экономики на основе системно-кибернетической теории и архитектуры предприятия. Новизной представленных определений является то, что они позволяют более структурированно рассматривать явление цифровизации в контексте корпоративного сектора и более точно анализировать его воздействие на бизнес-модели и эффективность компаний.

Предложенные определения помогут исследователям и практикам более глубоко понять и оценить изменения, вызванные цифровой трансформацией, и сформировать стратегические решения на основе более точного понимания этого феномена в корпоративной среде.

2. Предложен подход к определению цифровизации, основанный на системно-кибернетической теории и архитектуре предприятия. Для формирования предложенного подхода предлагается опираться на практику автоматизации и эволюционный аспект автоматизации.

Направления дальнейших исследований

Использование и развитие цифровых сервисов является определяющим в эволюции корпоративных ИТ систем. С момента объявления перехода к цифровым технологиям новые поколения корпоративных ИТ систем появляются со скоростью, невиданной ранее: если между ERP 1-го поколения и 2-го прошло около 25 лет, то ERP 3-го поколения появилось уже через 15 лет после предшественника, а еще через 10 — первые представители 4-го поколения. И всего несколько лет

понадобилось на определение четких контуров 5-го поколения. И всему причиной – цифровые сервисы.

Получается, что сложившаяся динамика развития корпоративных ИТ-систем, особенно в контексте влияния цифровых сервисов, предоставляет обширные перспективы для дальнейших исследований. В ходе последних лет намечилось несколько ключевых направлений, которые заслуживают более глубокого анализа.

Поэтому следующий этап наших исследований будет посвящен детальному рассмотрению воздействия цифровых сервисов на процессные компоненты корпоративных ИТ-систем. Хотя сервисы и оказывают мощное влияние на процессные компоненты, но последние остаются наиболее консервативной частью в корпоративном ИТ ландшафте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shkolnyk I., Semenog A. (2019) Formation of the digital economy theory in the works of N. Negroponte and D. Tapscott. In: *Business Risk in Changing Dynamics of Global Village 2*. Publishing House of University of Applied Sciences in Nysa, 472–483.
2. Tapscott Don (1995) *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*, McGraw-Hill, 18.
3. Dudley H., & ITT Communication Systems Inc Paramus Nj. (1964). *State Of the Art, Speech Compression and Digitization*.
4. Breuer M.A. (1965) Digitalization of continuous control systems. *Simulation*, 5 (5), 329–337.
5. Bonačić V., Souček B., Čuljat K. (1968) Pseudo-random digital transformation. *Nuclear Instruments and Methods*, 66 (2), 213–223.
6. Cameron L., Bazelon C. (2013). *The Impact of digitization on business models in copyright-driven industries: a review of the economic issues*. Legal Studies.
7. Habara K., Aratani T. (1980) Toward local network digitalization: The view from Japan. *IEEE Transactions on Communications*, 28 (7), 956–966.
8. Tomlinson D.E. (1989). One Technological Step Forward and Two Legal Steps Back: Digitalization and Television Newspictures as Evidence and as Libel. *Loy. Ent. LJ*, 9, 237.
9. Keiser-Nielsen S. (1982) Digitalization of dental recording. *Forensic Science International*, 20 (2), 153–161.
10. Lane J. (2013) *Development of a Low-Cost Digital Sampling and Processing System for Musical Instrument Application*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3333.4489>
11. Parekh H. (2001) *Digitization: an overview of issues*. [online] Available at: <https://ir.inflibnet.ac.in/handle/1944/79> [Accessed 31.03.2023]
12. Bingham A. (2010) The digitization of newspaper archives: Opportunities and challenges for historians. *Twentieth Century British History*, 21 (2), 225–231.
13. Billon M., Lera-Lopez F., Marco R. (2010) Differences in digitalization levels: a multivariate analysis studying the global digital divide. *Review of World Economics*, 146, 39–73.
14. Andal-Ancion A., Cartwright P.A., Yip G.S. (2003) The digital transformation of traditional business. *MIT Sloan Management Review*.
15. Zhu K., Dong S., Xu S.X., Kraemer K.L. (2006) Innovation diffusion in global contexts: determinants of post-adoption digital transformation of European companies. *European journal of information systems*, 15, 601–616.
16. Ritter T., Pedersen C.L. (2020) Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. *Industrial Marketing Management*, 86, 180–190.
17. Ross J.W., Beath C.M., Mocker M. (2019) Creating digital offerings customers will buy. *MIT Sloan management review*, 61 (1), 64–69.
18. Coreynen W., Matthyssens P., Van Bockhaven W. (2017) Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturers. *Industrial marketing management*, 60, 42–53.

19. Mentsiev A.U., Engel M.V., Tsamaev A.M., Abubakarov M.V., Yushaeva R.S. (2020) The concept of digitalization and its impact on the modern economy. *In International Scientific Conference "Far East Con"(ISCFEC 2020)*, 2960–2964.
20. Kraus S., Jones P., Kailer N., Weinmann A., Chaparro-Banegas N., Roig-Tierno N. (2021) Digital transformation: An overview of the current state of the art of research. *Sage Open*, 11 (3), 21582440–211047576.
21. Никитская Е.Ф., Валишвили М.А., Афонина В.Е. (2021) Цифровизация в глобальном мире: международная практика и российский опыт. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 10 (2), 150–159. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.1881>
22. Калинин В.Н. (2013) Морфологический анализ проблематики теории системных исследований. *Труды СПИИРАН*, 1 (24), 89–107.
23. Mesarovic M.D., Takahara Y. (1975) *General systems theory: Mathematical foundations*. N.Y.: Academic Press, 268.
24. Ямалиев Р.Р., Зайнуллин Р.Ш. (2016) Оптимизация бизнес-процессов: интеграция и управление. *Economics*, 6 (15), 31–35.
25. Гилева Т.А., Бабкин А.В., Гилёв Г.А. (2020) Разработка стратегии цифровой трансформации предприятия с учетом возможностей бизнес-экосистем. *Экономика и управление*, 26 (6), 629–642.
26. Городецкий В.И. (2022) Наука о данных: методология, основные направления, проблемы и перспективы. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 3, 3–20. DOI: <https://doi.org/10.14357/20718594220301>
27. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Костень Д.Г., Воробьев Ю.Н. (2017) Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 10 (3), 9–25.
28. Турко Л.В. (2019) Сущность феномена цифровой экономики, анализ определений понятия «Цифровая экономика». *Российский экономический интернет-журнал*, 2, 88.
29. Вилькен В.В. (2019) Цифровая экономика: возможности и угрозы для регионов России. *Российский экономический интернет-журнал*, 2, 19.
30. Бабкин А.В., Алексеева Н.С. (2019) Тенденции развития цифровой экономики на основе исследования наукометрических баз данных. *Экономика и управление*, 6 (164), 16–25.
31. Гелисханов И.З., Юдина Т.Н., Бабкин А.В. (2018) Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 11 (6), 22–36.
32. Лутошкин И.В., Парамонова А.А. (2019) Анализ влияния цифровых технологий на развитие национальной экономики. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 12 (4), 20–31. DOI: [10.18721/JE.12402](https://doi.org/10.18721/JE.12402)
33. Балашова Е.С., Майорова К.С. (2020) Анализ направлений внедрения цифровых технологий в промышленный комплекс. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 13 (2), 18–29. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13202>
34. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Shkarupeta Y., Pulyaeva V., Leifei C. (2022) Digitalization of Industry in Russia and Kazakhstan: the Best Practices. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1568–1577. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6200>
35. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A.A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 174–182. DOI: <http://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
36. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Shkarupeta E. (2023) Industry 5.0 and Digital Ecosystems: Scientometric Research of Development Trends Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. *DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 684.
37. Шкарупета Е.В., Гамидуллаева Л.А., Тарасов А.В. (2020) Концептуальные положения цифровой трансформации промышленных экосистем. В книге: *Цифровизация экономических систем: теория и практика* (под ред. А.В. Бабкина), СПб: Политех-пресс, 136–154.
38. Кобзев В.В., Бабкин А.В., Скоробогатов А.С. (2022) Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности. *π-Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15501>

REFERENCES

1. Shkolnyk I., Semenog A. (2019) Formation of the digital economy theory in the works of N. Negroponte and D. Tapscott. In: *Business Risk in Changing Dynamics of Global Village 2*. Publishing House of University of Applied Sciences in Nysa, 472–483.
2. Tapscott Don (1995) *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*, McGraw-Hill, 18.
3. Dudley H., & ITT Communication Systems Inc Paramus Nj. (1964). *State Of the Art, Speech Compression and Digitization*.
4. Breuer M.A. (1965) Digitalization of continuous control systems. *Simulation*, 5 (5), 329–337.
5. Bonačić V., Souček B., Čuljat K. (1968) Pseudo-random digital transformation. *Nuclear Instruments and Methods*, 66 (2), 213–223.
6. Cameron L., Bazelon C. (2013) *The Impact of digitization on business models in copyright-driven industries: a review of the economic issues*. Legal Studies.
7. Habara K., Aratani T. (1980) Toward local network digitalization: The view from Japan. *IEEE Transactions on Communications*, 28 (7), 956–966.
8. Tomlinson D.E. (1989) One Technological Step Forward and Two Legal Steps Back: Digitalization and Television Newspictures as Evidence and as Libel. *Loy. Ent. LJ*, 9, 237.
9. Keiser-Nielsen S. (1982) Digitalization of dental recording. *Forensic Science International*, 20 (2), 153–161.
10. Lane J. (2013) *Development of a Low-Cost Digital Sampling and Processing System for Musical Instrument Application*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3333.4489>
11. Parekh H. (2001) *Digitization: an overview of issues*. [online] Available at: <https://ir.inflibnet.ac.in/handle/1944/79> [Accessed 31.03.2023]
12. Bingham A. (2010) The digitization of newspaper archives: Opportunities and challenges for historians. *Twentieth Century British History*, 21 (2), 225–231.
13. Billon M., Lera-Lopez F., Marco R. (2010) Differences in digitalization levels: a multivariate analysis studying the global digital divide. *Review of World Economics*, 146, 39–73.
14. Andal-Ancion A., Cartwright P.A., Yip G.S. (2003) The digital transformation of traditional business. *MIT Sloan Management Review*.
15. Zhu K., Dong S., Xu S.X., Kraemer K.L. (2006) Innovation diffusion in global contexts: determinants of post-adoption digital transformation of European companies. *European journal of information systems*, 15, 601–616.
16. Ritter T., Pedersen C.L. (2020) Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. *Industrial Marketing Management*, 86, 180–190.
17. Ross J.W., Beath C.M., Mocker M. (2019) Creating digital offerings customers will buy. *MIT Sloan management review*, 61 (1), 64–69.
18. Coreynen W., Matthyssens P., Van Bockhaven W. (2017) Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturers. *Industrial marketing management*, 60, 42–53.
19. Mentsiev A.U., Engel M.V., Tsamaev A.M., Abubakarov M.V., Yushaeva R.S. (2020) The concept of digitalization and its impact on the modern economy. In *International Scientific Conference "Far East Con" (ISCFEC 2020)*, 2960–2964.
20. Kraus S., Jones P., Kailer N., Weinmann A., Chaparro-Banegas N., Roig-Tierno N. (2021) Digital transformation: An overview of the current state of the art of research. *Sage Open*, 11 (3), 21582440211047576.
21. Nikitskaya E.F., Valishvili M.A., Afonina V.E. (2021) Tsifrovizatsiya v global'nom mire: mezhdunarodnaya praktika i rossiiskii opyt. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*, 10 (2), 150–159. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.1881>
22. Kalinin V.N. (2013) Morfologicheskii analiz problematiki teorii sistemnykh issledovaniy. *Trudy SPIIRAN*, 1 (24), 89–107.
23. Mesarovic M.D., Takahara Y. (1975) *General systems theory: Mathematical foundations*. N.Y.: Academic Press, 268.
24. Yamaliev R.R., Zainullin R.Sh. (2016) Optimizatsiya biznes-protssosov: integratsiya i upravlenie. *Economics*, 6 (15), 31–35.
25. Gileva T.A., Babkin A.V., Gilev G.A. (2020) Razrabotka strategii tsifrovoi transformatsii predpriyatiya s uchetom vozmozhnostei biznes-ekosistem. *Ekonomika i upravlenie*, 26 (6), 629–642.



26. Gorodetskii V.I. (2022) Nauka o dannykh: metodologiya, osnovnye napravleniya, problemy i perspektivy. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii*, 3, 3–20. DOI: <https://doi.org/10.14357/2071-8594220301>
27. Babkin A.V., Burkal'tseva D.D., Kosten' D.G., Vorob'ev Yu.N. (2017) Formirovanie tsifrovoi ekonomiki v Rossii: sushchnost', osobennosti, tekhnicheskaya normalizatsiya, problemy razvitiya. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 10 (3), 9–25.
28. Turko L.V. (2019) Sushchnost' fenomena tsifrovoi ekonomiki, analiz opredelenii ponyatiya «Tsifrovaya ekonomika». *Rossiiskii ekonomicheskii internet-zhurnal*, 2, 88.
29. Vil'ken V.V. (2019) Tsifrovaya ekonomika: vozmozhnosti i ugrozy dlya regionov Rossii. *Rossiiskii ekonomicheskii internet-zhurnal*, 2, 19.
30. Babkin A.V., Alekseeva N.S. (2019) Tendentsii razvitiya tsifrovoi ekonomiki na osnove issledovaniya naukometricheskikh baz dannykh. *Ekonomika i upravlenie*, 6 (164), 16–25.
31. Geliskhanov I.Z., Yudina T.N., Babkin A.V. (2018) Tsifrovye platformy v ekonomike: sushchnost', modeli, tendentsii razvitiya. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 11 (6), 22–36.
32. Lutoshkin I.V., Paramonova A.A. (2019) Analiz vliyaniya tsifrovyykh tekhnologii na razvitie natsional'noi ekonomiki. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki*, 12 (4), 20–31. DOI: [10.18721/JE.12402](https://doi.org/10.18721/JE.12402)
33. Balashova E.S., Maiorova K.S. (2020) Analiz napravlenii vnedreniya tsifrovyykh tekhnologii v promyshlennyi kompleks. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki*, 13 (2), 18–29. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13202>
34. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Shkarupeta Y., Pulyaeva V., Leifei C. (2022) Digitalization of Industry in Russia and Kazakhstan: the Best Practices. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1568–1577. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6200>
35. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A. A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 174–182. DOI: <http://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
36. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Shkarupeta E. (2023) Industry 5.0 and Digital Ecosystems: Scientometric Research of Development Trends Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. *DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 684.
37. Shkarupeta E.V., Gamidullaeva L.A., Tarasov A.V. (2020) Kontseptual'nye polozheniya tsifrovoi transformatsii promyshlennykh ekosistem. V knige: *Tsifrovizatsiya ekonomicheskikh sistem: teoriya i praktika* (pod red. A.V. Babkina), SPb: Politekh-press, 136–154.
38. Kobzev V.V., Babkin A.V., Skorobogatov A.S. (2022) Tsifrovaya transformatsiya promyshlennykh predpriyatii v usloviyakh novoi real'nosti. *π -Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15501>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ФРОЛОВ Константин Владимирович

E-mail: frolov_kv@spbstu.ru

Konstantin V. FROLOV

E-mail: frolov_kv@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1341-2288>

БАБКИН Александр Васильевич

E-mail: al-vas@mail.ru

Aleksandr V. BABKIN

E-mail: al-vas@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-6358>

ФРОЛОВ Александр Константинович

E-mail: frolov_ak@spbstu.ru

Aleksandr K. FROLOV

E-mail: frolov_ak@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7892-3083>

Поступила: 19.01.2024; Одобрена: 27.02.2024; Принята: 28.02.2024.

Submitted: 19.01.2024; Approved: 27.02.2024; Accepted: 28.02.2024.