



Check for updates

Образовательная политика

УДК 336.1

<https://www.doi.org/10.33910/3034-4255-2025-2-1-28-37>

Цифровизация качества: вызовы и возможности

С. Н. Кузьмина[✉], В. С. Голубев, П. В. Марченко, Т. Р. Мухтаров, П. В. Голубенко

Аннотация. Подробно рассматриваются ключевые аспекты цифровизации качества в рамках концепции Индустрии 4.0, подчеркивая, как вызовы, так и возможности, возникающие при внедрении современных цифровых технологий в производственные процессы и системы управления качеством. В условиях стремительного развития технологий (Интернет вещей (IoT), большие данные (Big Data), искусственный интеллект (AI), технологии автоматизации) организации сталкиваются с необходимостью адаптации процессов для повышения конкурентоспособности и эффективности. Цифровизация — фактор, определяющий успех компаний в различных отраслях. Одним из ключевых условий успешной цифровизации является развитие соответствующей инфраструктуры, в том числе формирование надежных информационных систем, способных к обработке и анализу больших объемов данных в реальном времени. Особое внимание уделяется автоматизации процессов контроля качества, что способствует минимизации влияния человеческого фактора и обеспечивает более высокую точность измерений. Возрастает необходимость адаптации образовательных программ под требования цифровой экономики, предполагающей формирование у специалистов не только технических знаний, но и компетенций в сфере анализа данных, цифрового управления и проектного менеджмента. Кроме того, цифровизация процессов качества все чаще рассматривается через призму экологической устойчивости, что подчеркивает ее значимость в контексте современного социально-экономического развития. В рамках российской практики реализации концепции «Качество 4.0» акцентируется внимание на специфике национальной стандартизации, которая должна учитывать уникальные условия и потребности отечественного производства. Рассматриваются примеры успешных внедрений цифровых решений на российских предприятиях, а также существующие барьеры и пути их преодоления. Также анализируются ключевые направления стратегии цифровой трансформации в России, среди которых создание единой информационной платформы для обмена данными между предприятиями, внедрение систем управления производственными процессами, а также использование искусственного интеллекта для предсказательной аналитики и оптимизации процессов.

Ключевые слова: цифровизация качества, Индустрия 4.0, Качество 4.0, управление знаниями, стандартизация, цифровая трансформация, автоматизация, экологическая устойчивость

Digitalization of quality: Challenges and opportunities

S. N. Kuzmina[✉], V. S. Golubev, P. V. Marchenko, T. R. Mukhtarov, P. V. Golubenko

Abstract. This article provides a comprehensive examination of quality digitalization within the Industry 4.0 framework, highlighting both challenges and opportunities arising from the integration of modern digital technologies into production processes and quality management systems. In the context of rapid technological development (Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), automation technologies), organizations face the imperative to adapt their processes to enhance competitiveness and efficiency. Digital transformation has become a critical success factor for companies across various industries. A fundamental prerequisite for successful digitalization is the development of appropriate infrastructure, including robust information systems capable of processing and analyzing large data volumes in real time. Particular emphasis is placed on quality control automation, which minimizes human factor interference while ensuring superior measurement accuracy. The study underscores the growing need to adapt educational programs to meet digital economy requirements, necessitating specialists to develop not only technical expertise but also competencies in data analysis, digital management, and project management. Furthermore, quality

process digitalization is increasingly examined through the lens of environmental sustainability, emphasizing its significance in contemporary socioeconomic development. The article explores how the introduction of 'smart' technologies can contribute to more efficient use of resources and reduce negative impact on the environment. Within the Russian implementation context of Quality 4.0, special attention is given to national standardization specifics that must accommodate unique domestic production conditions and requirements. The article presents case studies of successful digital solutions at Russian enterprises, along with existing barriers and mitigation strategies. Additionally, it analyzes key directions of Russia's digital transformation strategy, including: development of a unified data exchange platform for enterprises, implementation of production process management systems, and utilization of artificial intelligence for predictive analytics and process optimization.

Keywords: quality digitalization, Industry 4.0, Quality 4.0, knowledge management, standardization, digital transformation, automation, environmental sustainability

Введение

В современном мире цифровизация стала ключевым фактором конкурентоспособности компаний и стран. Она затрагивает все сферы экономики, включая производство, логистику, маркетинг, а также управление качеством (Дривольская, Моложавенко 2021). Россия активно движется к цифровой трансформации различных секторов экономики (Симченко и др. 2022). «Этот процесс представляет собой сложный комплекс мероприятий, направленных на внедрение передовых цифровых технологий для повышения эффективности производства, улучшения качества продукции и обеспечения устойчивого развития» (Мозговой 2018).

В рамках реализации указов Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», в том числе с целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономику и социальную сферу, Правительством Российской Федерации сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7 (Половникова, Николихина 2022).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 марта 2019 г. № 234 «О системе управления реализацией национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации”» утверждена система управления реализацией национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

«В настоящее время на процессы в сфере государственного управления информацион-

ными технологиями, цифровизации государственного управления и состояния ГИС, как инструментов цифровизации, на любом из этапов жизненного цикла влияют более 1800 подлежащих соблюдению действующих требований, установленных правовыми актами различного уровня» (Бюллетень Счетной палаты... 2022).

В рамках реализации вышеуказанных стратегических документов предусмотрен комплекс приоритетных направлений, направленных на формирование цифровой среды в производстве, управлении качеством и социальной сфере. К числу таких направлений относятся: цифровая трансформация отраслей промышленности и государственного сектора, формирование устойчивой информационной инфраструктуры, развитие кадрового потенциала в сфере цифровых технологий, а также обеспечение кибербезопасности и технологической независимости.

Направления цифровой трансформации, закреплённые в нормативно-программных актах, формируют основу для интеграции новых подходов к управлению качеством, способствуют повышению прозрачности процессов, улучшению взаимодействия между бизнесом и государством, а также создают благоприятные условия для реализации приоритетных цифровых проектов (Ленчук и др. 2020).

Особое значение в контексте цифровизации качества приобретает внедрение сквозных цифровых технологий (включая искусственный интеллект, большие данные и промышленные интернет-платформы) в процессы мониторинга, анализа и контроля качества. Также следует обратить внимание на развитие государственных информационных систем, обеспечивающих унифицированный подход к управлению данными, и создание нормативной базы для межведомственного взаимодействия.

«Создание инфраструктуры также является ключевым в цифровизации менеджмента

качества. Инфраструктура имеет следующие направления:

- Цифровизация и интеграция вертикальных и горизонтальных процессов создания стоимости. Вертикальная интеграция предполагает интеграцию процессов по вертикали в рамках всего менеджмента организации, начиная от планирования производства, разработки продуктов и закупок, заканчивая логистикой и обслуживанием. Горизонтальная интеграция охватывает поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по цепочке создания стоимости.
- Цифровизация предлагаемых товаров и услуг. Данное направление цифровизации включает в себя дополнение имеющихся продуктов, например, интеллектуальными датчиками или устройствами связи, совместимыми с методами аналитики данных, а также создание новых цифровых продуктов, предназначенных для предоставления комплексных решений. Благодаря внедрению новых инструментов сбора и анализа данных у компаний появляется возможность получать данные об эксплуатации продуктов и совершенствовать эти продукты, исходя из новых требований.

Современные информационные технологии справляются с автоматизированными процессами, однако им все еще непосильны глобальные вопросы (например, общий вектор развития компании, политика в области качества, принятие корректных решений относительно целей, задач и стратегии развития компании). Развитие системы менеджмента качества должно способствовать росту ее результативности и укреплению конкурентных позиций компании на рынке. Исходя из этого, целесообразной представляется разработка стратегии развития системы менеджмента качества компаний» (Сойко, Курамшина 2022).

Качество 4.0

Первая волна качества (QUALITY 1.0) относится к техническому контролю, осуществляемому специалистами в области качества. Вторая волна качества (QUALITY 2.0) сосредоточена на инспекции, контроле, аудите и обеспечении качества продукции через взаимодействие с поставщиками и использование новых методов контроля. «Третья волна качества (QUALITY 3.0) вводит систему менеджмента качества (СМК), включая постоянное улучшение,

обучение персонала и применение стандартов ISO 9000. Наконец, четвертая волна качества (QUALITY 4.0) фокусируется на непрерывном управлении качеством в режиме реального времени с использованием больших данных и интернета вещей» (Broday 2022).

Клаус Шваб, известный немецкий экономист, подчеркнул ключевые последствия 4-й промышленной революции (Шваб 2016), среди которых кардинальные изменения в ожиданиях потребителей, совершенствование качества товаров и услуг благодаря использованию больших данных, повышающих эффективность активов, формирование новых партнерских отношений и преобразование операционных моделей в цифровую эпоху (Афанасьев 2023).

«Индустрия 4.0 значительно влияет на содержание и соотношение ценностей, качества и потребительского опыта, что привело к возникновению концепции “Качество 4.0”. Термин “Качество 4.0” можно интерпретировать как новые требования к управлению качеством в контексте Индустрии 4.0, сочетая инновационные технологии с традиционными методами контроля качества, применяемыми в системах менеджмента качества (СМК). Качество 4.0 не заменяет, а дополняет существующие подходы, строясь на их основе» (Лясковская 2021).

«В 2017 г. в исследовании, проведенном компанией LNS Research, была предложена модель Качества 4.0, включающая 11 ключевых компонентов: данные (Data), аналитика (Analytics), взаимодействие (Connectivity), сотрудничество (Collaboration), разработка приложений (App Development), масштабируемость (Scalability), системы менеджмента (Management Systems), соответствие требованиям (Compliance), культура (Culture), лидерство (Leadership), компетенции (Competency)» (Jacob 2024).

Качество 4.0 включает в себя людей, процессы и технологии (Козлова и др. 2021). Ключевым шагом в любых значимых преобразованиях является культурный аспект. Важно воспринимать качество как стратегическую инициативу бизнеса, а не просто как операционную функцию.

Качество 4.0 — это новая парадигма управления качеством, где цифровые инструменты в сочетании с передовыми методами и более разумными процессами позволяют командам качества непрерывно поставлять клиентам высококачественную продукцию (Серенков и др. 2021). Это достигается при одновременном усилении безопасности, повышении внутренней эффективности и поддержке экологически устойчивых операций.

Достижение целей устойчивого развития (ЦУР) тесно связано с новым пониманием качества, которое учитывает социальные, экологические и этические аспекты (Дзятковская 2020).

Качество 4.0 на российских предприятиях

Российские предприятия активно внедряют технологии и методы, соответствующие концепции Качества 4.0. Производство автоматизировано на 84 %, что свидетельствует о значительном прогрессе в использовании цифровых технологий (Козлова и др. 2021).

«Внедряются передовые решения, такие как система улучшенного управления технологическим процессом (APC), производственная система (MES), лабораторная система (LIMS), система управления предприятием (SAP ERP) и система управления бизнес-процессами (BPM), обеспечивающие улучшенный контроль над производственными процессами благодаря повышению качества продукции и сокращению издержек» (Кузьмина и др. 2024).

В условиях перехода к Индустрии 4.0 компании сталкиваются с необходимостью интеграции передовых цифровых технологий в производственные процессы и системы управления качеством (Гётц, Янковска 2020). Важным аспектом этого процесса является сбор, анализ и управление знаниями о качестве продукции. Использование современных информационных систем позволяет эффективно управлять большими объемами данных, полученных в результате мониторинга производственных процессов, что способствует повышению уровня качества и снижению издержек. Кроме того, управление знаниями помогает компаниям адаптироваться к быстро меняющимся условиям рынка и оперативно реагировать на потребности клиентов, что особенно важно в условиях высокой конкуренции (Максимов, Горина 2023).

На фоне стремительного распространения цифровых технологий в промышленном секторе все более актуальной становится задача интеграции интеллектуальных решений в существующие производственные и управленческие контуры. Российские предприятия, адаптируясь к условиям Индустрии 4.0, активно трансформируют подходы к управлению качеством продукции. Такой переход требует не только модернизации оборудования, но и глубокой цифровой переработки процессов принятия решений, основанных на аналитике данных.

«Традиционные методы управления качеством дополняются комплексом программного обеспечения и оборудования автоматизированные процессы с применением искусственного интеллекта и постоянным мониторингом жизненного цикла продукции помогают снижать себестоимость без потери качества» (Парфеньев 2019). Ключевым элементом становится сбор, анализ и управление знаниями о качестве. Современные информационные системы позволяют «эффективно управлять большими объемами данных, полученных в результате мониторинга производственных процессов», что помогает улучшить качество продукции и оптимизировать затраты, подчеркивается в исследовании по цифровому управлению качеством. Управление знаниями о качестве также повышает адаптивность компаний к требованиям рынка. Цифровизация позволяет организациям оперативно реагировать на потребности клиентов, что особенно важно в условиях высокой конкуренции.

Таким образом, интеграция знаний о качестве посредством цифровых инструментов становится стратегическим ресурсом технологичных предприятий и ключевым условием их успеха в эпоху цифровой трансформации.

Развитие стандартизации в области Индустрии 4.0

«Новые задачи стандартизации в цифровизации, как элемента современной инновационной и промышленной политики порождают изменения в различных видах экономической деятельности. Стандарты и деятельность по их разработке являются инструментом комплексного решения проблем в высокотехнологичных секторах промышленного производства. Так именно в рамках стандартизации возможно обеспечение прозрачности и открытости инновационного развития, позволяя тем самым заинтересованным сторонам договариваться о технических спецификациях и возможностях применения новых технологий» (Азиминая, Сучкова 2020). Международные организации по стандартизации, такие как ISO и ИЕС, занимают центральное место в формировании нормативной базы, необходимой для эффективного функционирования технологий четвертой промышленной революции. Их технические комитеты осуществляют разработку стандартов, направленных на обеспечение совместимости и интеграции различных цифровых систем и устройств, что является основой построения киберфизических производственных систем в рамках концепции Индустрии 4.0.

Национальные стандарты Российской Федерации играют ключевую роль в поддержке и развитии инновационных технологий, таких как Индустрия 4.0. Одним из важных примеров является ГОСТ Р 59799-2021 «Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0)» (ГОСТ... 2021). Этот стандарт был принят в целях обеспечения совместимости и интеграции различных технологий и систем в рамках Индустрии 4.0.

Кроме того, 6 июля 2021 г. был создан проектный технический комитет по стандартизации ПТК 711 «Умные (SMART) стандарты» (Лоцманов 2022). В состав комитета вошли такие крупные игроки, как Росатом, Роскосмос, РЖД, КамАЗ, отраслевые ассоциации и IT-компании. Основная цель создания данного комитета — разработка и внедрение стандартов, которые помогут ускорить переход к цифровому производству и интегрировать новейшие технологии в различные отрасли экономики.

«Трудно переоценить роль и значение стандартизации в современном мире. Стереотипы работают аспектом суждения, мерой свойства, конкретным залогом сопоставимости и взаимозаменяемости, содействуя увеличению защищенности, охране самочувствия людей и оброне, находящейся вокруг среды, что наиболее стереотипы способствуют улучшению свойства жизни. На современном этапе развития отечественной экономики стандартизация является ключевым фактором перехода к Индустрии 4.0» (Азими́на, Сучкова 2020).

Заключение

Цифровизация управления качеством становится неотъемлемой частью развития промышленных предприятий в эпоху Индустрии 4.0. Внедрение информационных технологий (IoT, больших данных, ИИ) в процессы контроля качества открывает возможности для повышения эффективности и конкурентоспособности продукции. Автоматизация сбора и анализа данных способствует созданию адаптивных систем качества, которые оперативно реагируют на изменения в производстве и минимизируют количество дефектов. В условиях ускоренного внедрения цифровых технологий стандартизация становится важнейшим фактором устойчивого развития промышленности в рамках концепции Индустрии 4.0. Международные и национальные организации стандартизации активно формируют нормативную базу, охватывающую такие направления, как обработка и обмен цифровыми данными, интеллектуальные системы

управления, автоматизация производственных процессов, интеграция цифровых платформ и промышленные коммуникационные технологии. Совершенствование этих стандартов способствует технологической совместимости и унификации решений, что позволяет обеспечить эффективное функционирование «умных» производственных систем.

Развитие национальных стандартов в Российской Федерации отражает стратегический курс на цифровую трансформацию промышленного сектора. Создание единой нормативной среды способствует не только технологической модернизации, но и укреплению позиций российских предприятий в условиях глобальной конкуренции, что подчеркивает важность системного подхода к формированию цифровой инфраструктуры и подтверждает ориентир на устойчивый рост экономики через интеграцию инновационных решений и повышение качества промышленного производства. «Развивая и совершенствуя систему менеджмента качества, цифровизация качества позволит усовершенствовать бизнес-процессы и системы предприятия, используя инновационные технологии и повышая производительность при этом минимизируя затраты. Запуск процесса цифровой трансформации с большой долей вероятности приведет к серьезным изменениям текущих бизнес-моделей. Однако необходимо убедиться в эффективности стратегии ее проведения, возможности реализации и получении ожидаемых результатов. На пути цифрового самосовершенствования все компании непременно сталкиваются с препятствиями, но только от организаций зависит, чем они станут для них: разрушительным испытанием или точкой опоры для новых достижений» (Сойко, Курамшина 2022).

Список сокращений

AI — Искусственный интеллект;
Big Data — Большие данные;
IoT — Интернет вещей;
MES — Manufacturing Execution System;
CMK — Система менеджмента качества;
ЦУР — Цели устойчивого развития;
APC — Advanced Process Control;
LIMS — Laboratory Information Management System;
SAP — System Analysis and Program Development;
ERP — Enterprise Resource Planning
BPMS — Business Process Management System;
ISO — International Organization for Standardization;
IEC — International Electrotechnical Commission;
RAMI 4.0 — Reference Architectural Model Industrie 4.0;
ПТК — Проектный технический комитет по стандартизации;

SMART — Specific (Конкретность), Measurable (Измеримость), Achievable (Достижимость), Relevant (Актуальность), Time-bound (Ограниченность во времени);

РЖД — Российские железные дороги;

IT — Information Technologies.

Abbreviations

AI — Artificial Intelligence;

Big Data — Big Data;

IoT — Internet of Things;

MES — Manufacturing Execution System;

QMS — Quality Management System;

SDGs — Sustainable Development Goals;

APC — Advanced Process Control;

LIMS — Laboratory Information Management System;

SAP — System Analysis and Program Development;

ERP — Enterprise Resource Planning

BPMS — Business Process Management System;

ISO — International Organization for Standardization;

IEC — International Electrotechnical Commission;

RAMI 4.0 — Reference Architectural Model Industrie 4.0;

PTC — Project Technical Committee for Standardization;

SMART — Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound;

RZD — Russian Railways;

IT — Information Technologies.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Финансирование

Исследование не имело финансовой поддержки.

Funding

The study had no financial support.

Вклад авторов

Голубев Валерий Сергеевич: концептуализация — формулирование целей и задач исследования; написание — подготовка, создание опубликованной работы, а именно написание первоначального проекта (включая перевод по существу); написание — рецензирование и редактирование — подготовка, создание и/или представление опубликованной работы лицами из оригинальной исследовательской группы, в частности, критический обзор, коммента-

рии или пересмотр — включая этапы до или после публикации.

Марченко Павел Вячеславович: курация данных — аннотирование, очистка данных и поддержание исследовательских данных для первоначального использования и последующего повторного использования; написание — подготовка, создание опубликованной работы, а именно написание первоначального проекта (включая перевод по существу).

Мухтаров Тимур Ринатович: проведение процесса исследования и изучения, сбор данных/фактов; написание — подготовка, создание опубликованной работы, а именно написание первоначального проекта (включая перевод по существу).

Голубенко Павел Владимирович: валидация — проверка, как в рамках деятельности, так и отдельно, общей воспроизводимости/воспроизводимости результатов исследования; написание — подготовка, создание опубликованной работы, а именно написание первоначального проекта (включая перевод по существу).

Кузьмина Светлана Николаевна: концептуализация — формулирование целей и задач исследования; надзор и руководство планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество со стороны основной группы.

Author Contributions

Valery S. Golubev: conceptualization — formulation of research goals and objectives; writing — original draft preparation and creation of the published work, including substantive translation; writing — review and editing — preparation, creation, and/or submission of the published work by members of the original research team, specifically critical review, commentary, and revision, including pre- and post-publication stages.

Pavel V. Marchenko: data curation — annotation, data cleaning, and maintenance of research data for initial use and subsequent reuse; writing — original draft preparation and creation of the published work, including substantive translation.

Timur R. Mukhtarov: investigation — conducting the research and investigation process, collecting data/facts; writing — original draft preparation and creation of the published work, including substantive translation.

Pavel V. Golubenko: validation — verification, both within the research activity and separately, of the overall reproducibility/replicability of research results; writing — original draft preparation and creation of the published work, including substantive translation.

Svetlana N. Kuzmina: conceptualization — formulation of research goals and objectives; supervision — oversight and leadership in research activity planning and execution, including mentorship of the core research team.

Литература

- Азими́на, Е. В., Сучкова, М. Ю. (2020) Роль стандартизации в развитии индустрии 4.0 в Российской Федерации. *Экономические исследования и разработки*, № 10, с. 50–53.
- Афанасьев, А. А. (2023) Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России. *Вопросы инновационной экономики*, т. 13, № 3, с. 1427–1446. <https://doi.org/10.18334/vinec.13.3.117880>
- Бюллетень Счетной палаты РФ № 8 (297) 2022 г. *Государственные информационные системы*. (2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/83f/mmrاد21u58czwp2t05scehoiodj0y90.pdf> (дата обращения 25.11.2022).

- Гётц, М., Янковска, Б. (2020) Индустрия 4.0 как фактор конкурентоспособности компаний в условиях постпереходной экономики. *Форсайт*, т. 14, № 4, с. 61–78. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.4.61.78>
- ГОСТ Р 59799-2021. Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0). Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 октября 2021 г. № 1301-ст. (2021) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181355/titles/64U0IK> (дата обращения 13.12.2024).
- Дзятковская, Е. Н. (2020) Методологические подходы к преемственному формированию экологической культуры как платформы культуры устойчивого развития. *Ученые записки Забайкальского государственного университета*, т. 15, № 4, с. 6–15. <https://doi.org/10.21209/2658-7114-2020-15-4-6-15>
- Дривольская, Н. А., Моложавенко, О. А. (2021) Цифровизация промышленности как фактор устойчивого развития производства. *Экономика и бизнес: теория и практика*, № 9–1 (79), с. 74–77. <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2021-9-1-74-77>
- Козлова, А. В. (2021) *Разработка метода идентификации пригодности измерительного оборудования в управлении автоматизированными производственными системами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*. М., Московский государственный технологический университет «Станкин», 174 с.
- Кузьмина, С. Н., Силаева, В. В., Канунникова, К. И., Семенов, Ю. М. (2024) Экономика знаний как ключевой фактор инновационного развития страны. В кн.: *Качество образования и устойчивое развитие — основа международного сотрудничества. Материалы конференции Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в рамках программы Петербургского Международного экономического форума*. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, с. 240–253.
- Ленчук, Е. Б., Власкин, Г. А., Доржиева, В. В. и др. (2020) *Формирование цифровой экономики в России: вызовы, перспективы, риски*. СПб.: Алетейя, 320 с.
- Лоцманов, А. Н. (2022) Стандартизация как инструмент цифровизации промышленности. В кн.: *Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики. Материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых*. Екатеринбург: Ажур, с. 13–20.
- Лясковская, Е. А. (2021) Индустрия 4.0 и устойчивое развитие: от устойчивых бизнес-моделей к цифровой устойчивости. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, т. 15, № 4, с. 74–83. <https://doi.org/10.14529/em210408>
- Максимов, М. И., Горина, Е. А. (2023) Agile-методология как драйвер эффективной корпоративной культуры. *Региональная и отраслевая экономика*, № 1, с. 102–111. https://doi.org/10.47576/2949-1916_2023_1_102
- Мозговой, А. И. (2018) Повышение эффективности управления за счет цифровизации экономики. *Вестник евразийской науки*, т. 10, № 5, статья 91ECVN518. <https://doi.org/10.15862/91ECVN518>
- Половникова, Н. А., Николихина, С. А. (2022) Цифровизация в России: проблемы и перспективы. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, № 11–4, с. 256–262. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-11-4-256-262>
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 ноября 2021 г. № 3142-р. «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности». (2021) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402914382/> (дата обращения 13.12.2024).
- Серенков, П. С., Белова, Е. А., Рудая, А. Н. (2021) *Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Современные тенденции развития методов обеспечения качества» для обучающихся II ступени получения высшего образования специальности 1-54 80 01 «Обеспечение качества»*. [Электронный ресурс]. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/95674> (дата обращения 20.04.2025).
- Симченко, Н. А., Тимиргалева, Р. Р., Цехла, С. Ю. и др. (2022) *Устойчивое развитие промышленности в условиях цифровой поляризации*. Севастополь: Изд-во Филиала МГУ в г. Севастополе, 242 с.
- Сойко, А. И., Курамшина, Р. Р. (2022) Проблемы и перспективы развития системы менеджмента качества с учетом цифровизации экономики. В кн.: *Техническое регулирование в едином экономическом пространстве. Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Екатеринбург: Изд-во Российского государственного профессионально-педагогического университета, с. 123–127.
- Шваб, К. (2016) *Четвертая промышленная революция*. М.: Эксмо, 208 с.
- Broday, E. E. (2022) The evolution of quality: From inspection to quality 4.0. *International Journal of Quality and Service Sciences*, vol. 14, no. 3, pp. 368–382. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-09-2021-0121>
- Jacob, D. (2024) What is Quality 4.0? [Online]. Available at: <https://blog.insresearch.com/quality40> (accessed 13.12.2024).
- Kozlova, E. V., Kuznetsova, S. A., Romanovskaya, E. V. et al. (2021) Automation of technological processes in mechanical engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1111, article 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1111/1/012030>

References

- Afanasev, A. A. (2023) Industriya 4.0: k voprosu o perspektivakh tsifrovoy transformatsii promyshlennosti v Rossii [Industry 4.0: Prospects for digitalizing and transforming Russian industry]. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki — Russian Journal of Innovation Economics*, vol. 13, no. 3, pp. 1427–1446. <https://doi.org/10.18334/vinec.13.3.117880> (In Russian)
- Azimina, E. V., Suchkova, M. Yu. (2020) Rol' standartizatsii v razvitii industrii 4.0 v Rossijskoj Federatsii [Role of standardization in the development of the 4.0 industry in the Russian Federation]. *Ekonomicheskie issledovaniya i razrabotki — Economic Development Research Journal*, no. 10, pp. 50–53. (In Russian)
- Brodav, E. E. (2022) The evolution of quality: From inspection to quality 4.0. *International Journal of Quality and Service Sciences*, vol. 14, no. 3, pp. 368–382. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-09-2021-0121> (In English)
- Byulleten' Schetnoj palaty RF No. 8 (297) 2022 g. Gosudarstvennye informatsionnye sistemy [Bulletin of the Accounts Chamber of the Russian Federation No. 8 (297) 2022. State Information Systems]. (2022) [Online]. Available at: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/83f/mmradd21u58czwp2t05schoiodj0y90.pdf> (accessed 25.11.2022). (In Russian)
- Drivolskaya, N. A., Molozhavenko, O. A. (2021) Tsifrovizatsiya promyshlennosti kak faktor ustojchivogo razvitiya proizvodstva [Digitalization of industry as a factor of sustainable development of production]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika — Economy and Business: Theory and Practice*, no. 9–1 (79), pp. 74–77. <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2021-9-1-74-77> (In Russian)
- Dzyatkovskaya, E. N. (2020) Metodologicheskie podkhody k preemstvennomu formirovaniyu ekologicheskoy kul'tury kak platformy kul'tury ustojchivogo razvitiya [Methodological approaches to the continuity of an environmental culture forming as a platform of sustainable development culture]. *Uchenye zapiski Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta — Scholarly Notes of Transbaikal State University*, vol. 15, no. 4, pp. 6–15. <https://doi.org/10.21209/2658-7114-2020-15-4-6-15> (In Russian)
- Getts, M., Yankovska, B. (2020). Industriya 4.0 kak faktor konkurentosposobnosti kompanij v usloviyakh postperekhodnoj ekonomiki [Adoption of Industry 4.0 technologies and company competitiveness: Case studies from a post-transition economy]. *Forsajt*, vol. 14, no. 4, pp. 61–78. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.4.61.78> (In Russian)
- GOST R 59799-2021. Umnoe proizvodstvo. Model' etalonnoj arkhitektury industrii 4.0 (RAMI 4.0). Utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 25 oktyabrya 2021 g. No. 1301-st. [GOST R 59799-2021 Smart Manufacturing. Reference Architecture Model of Industry 4.0 (RAMI 4.0). Approved by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology on October 25, 2021, No. 1301-st.]. (2021) [Online]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200181355/titles/64U0IK> (accessed 13.12.2024). (In Russian)
- Jacob, D. (2024) What is Quality 4.0? [Online]. Available at: <https://blog.lnsresearch.com/quality40> (accessed 13.12.2024). (In English)
- Kozlova, A. V. (2021) *Razrabotka metoda identifikatsii prigodnosti izmeritel'nogo oborudovaniya v upravlenii avtomatizirovannymi proizvodstvennymi sistemami. PhD dissertation (Technical)*. Moscow, Moscow State University of Technology "Stankin", 174 p. (In Russian)
- Kozlova, E. V., Kuznetsova, S. A., Romanovskaya, E. V. et al. (2021) Automation of technological processes in mechanical engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1111, article 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1111/1/012030> (In English)
- Kuzmina, S. N., Silaeva, V. V., Kanunnikova, K. I., Semenenko, Yu. M. (2024) Ekonomika znaniy kak klyuchevoj faktor innovatsionnogo razvitiya strany [Knowledge economy as a key factor of innovative development of the country]. In: *Kachestvo obrazovaniya i ustojchivoe razvitie — osnova mezhhdunarodnogo sotrudnichestva. Materialy konferentsii Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta Petra Velikogo v ramkakh programmy Peterburgskogo Mezhhdunarodnogo ekonomicheskogo foruma [The quality of education and sustainable development are the basis of international cooperation. Materials of the Conference of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University]*. Saint Petersburg: Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University Publ., pp. 240–253. (In Russian)
- Lenchuk, E. B., Vlaskin, G. A., Dorzhieva, V. V. et al. (2020) *Formirovanie tsifrovoy ekonomiki v Rossii: vyzovy, perspektivy, riski [Formation of the digital economy in Russia: Challenges, prospects, risks]*. Saint Petersburg: Aletejya Publ., 320 p. (In Russian)
- Lotsmanov, A. N. (2022) Standartizatsiya kak instrument tsifrovizatsii promyshlennosti [Standardization as a tool for the digitalization of the industry]. In: *Rol' tekhnicheskogo regulirovaniya i standartizatsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki. Materialy IV mezhhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh [The role of technical regulation and standardization in the digital economy era. Collection of articles by the participants of the IV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists]*. Yekaterinburg: Azhur Publ., pp. 13–20. (In Russian)
- Lyaskovskaya, E. A. (2021) Industriya 4.0 i ustojchivoe razvitie: ot ustojchivyykh biznes-modelej k tsifrovoy ustojchivosti [Industry 4.0 and sustainable development: From sustainable business models to digital sustainability]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment — Bulletin of the South*

- Ural State University. Series "Economics and Management", vol. 15, no. 4, pp. 74–83. <https://doi.org/10.14529/em210408> (In Russian)
- Maksimov, M. I., Gorina, E. A. (2023). Agile-metodologiya kak drajver effektivnoj korporativnoi kul'tury [Agile methodology as a driver of effective corporate culture]. *Regional'naya i otraslevaya ekonomika — Regional and Branch Economy*, no. 1, pp. 102–111. https://doi.org/10.47576/2949-1916_2023_1_102 (In Russian)
- Mozgovoj, A. I. (2018) Povishenie effektivnosti upravleniya za schet tsifrovizatsii ekonomiki [Improving management efficiency through the digitization of the economy]. *Vestnik evrazijskoj nauki — The Eurasian Scientific Journal*, vol. 10, no. 5, article 91ECVN518. <https://doi.org/10.15862/91ECVN518> (In Russian)
- Polovnikova, N. A., Nikolikhina, S. A. (2022) Tsifrovizatsiya v Rossii: problemy i perspektivy [Digitalization in Russia: Problems and prospects]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk — International Journal of Humanities and Natural Sciences*, no. 11–4, pp. 256–262. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-11-4-256-262> (In Russian)
- Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 6 noyabrya 2021 g. № 3142-r. "Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti tsifrovoj transformatsii obrabatyvayushchikh otraslej promyshlennosti" [Order of the Government of the Russian Federation. No. 3142-r dated November 6, 2021. "On the approval of the strategic direction in the field of digital transformation of manufacturing industries"]. (2021) [Online]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402914382/> (accessed 13.12.2024). (In Russian)
- Schwab, K. (2016) *Chetvertaya promyshlennaya revoliutsiya [The Fourth Industrial Revolution]*. Moscow: Eksmo Publ., 208 p. (In Russian)
- Serenkov, P. S., Belova, E. A., Rudaya, A. N. (2021) *Elektronnyj uchebno-metodicheskij kompleks po uchebnoj distsipline "Sovremennye tendentsii razvitiya metodov obespecheniya kachestva" dlya obuchayushchikhsya II stupeni polucheniya vysshego obrazovaniya spetsial'nosti 1-54 80 01 "Obespechenie kachestva"* [Electronic educational and methodological complex on the academic discipline "Modern trends in the development of quality assurance methods" for students of the second stage of obtaining higher education in the specialty 1-54 80 01 "Quality Assurance"]. [Online]. Available at: <https://rep.bntu.by/handle/data/95674> (accessed 20.04.2025). (In Russian)
- Simchenko, N. A., Timirgaleeva, R. R., Tsekhl, S. Yu. et al. (2022) *Ustojchivoe razvitie promyshlennosti v usloviyakh tsifrovoj polyarizatsii [Sustainable industrial development in the context of digital polarization]*. Sevastopol: Branch of Moscow State University in Sevastopol Publ., 242 p. (In Russian)
- Sojko, A. I., Kuramshina, R. R. (2022) Problemy i perspektivy razvitiya sistemy menedzhmenta kachestva s uchedom tsifrovizatsii ekonomiki [Problems and prospects for the development of the quality management system taking into account the digitalization of the economy]. In: *Tekhnicheskoe regulirovanie v edinom ekonomicheskom prostranstve. Sbornik statej IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Technical regulation in a single economic space: Collection of articles of the IX All-Russian scientific and practical conference with international participation]*. Yekaterinburg: Russian State Professional Pedagogical University Publ., pp. 123–127. (In Russian)

Сведения об авторах

КУЗЬМИНА Светлана Николаевна — *Svetlana N. Kuzmina*

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия.

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia.

SPIN-код: 4370-4352, ResearcherID: A-8965-2015, ORCID: 0000-0002-4625-604X, e-mail: snkuzmina@etu.ru

Доктор экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества.

ГОЛУБЕВ Валерий Сергеевич — *Valery S. Golubev*

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия.

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia.

e-mail: 9513817@gmail.com

Аспирант.

Научный руководитель: Кузьмина Светлана Николаевна, доктор экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

МАРЧЕНКО Павел Вячеславович — *Pavel V. Marchenko*

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия.

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia.

e-mail: pmarchenko@mail.ru

Аспирант.

Научный руководитель: Кузьмина Светлана Николаевна, доктор экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

МУХТАРОВ Тимур Ринатович — *Timur R. Mukhtarov*

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия.

Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, Russia.

e-mail: habaner361@gmail.com

Аспирант.

Научный руководитель: Кузьмина Светлана Николаевна, доктор экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

ГОЛУБЕНКО Павел Владимирович — *Pavel V. Golubenko*

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия.

Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, Russia.

e-mail: p-golubenko@mail.ru

Аспирант.

Научный руководитель: Кузьмина Светлана Николаевна, доктор экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и систем качества СПбГЭТУ «ЛЭТИ».