

УДК 658.5

DOI: 10.22213/2413-1172-2026-3-55-63

Интеграция инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества промышленных предприятий

А. Р. Касимова, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Цифровая трансформация на основе принципов Индустрии 5.0 ставит новые задачи перед системами менеджмента качества (СМК) промышленных предприятий. Несмотря на обилие технологических решений, основным препятствием для их успешной интеграции остаются организационно-управленческие и технические барьеры. Несмотря на активное внедрение цифровых технологий, их интеграция в действующие СМК часто носит фрагментарный характер и не сопровождается ростом зрелости управленческих процессов. Целью статьи является выявление и научное обоснование факторов и барьеров интеграции инструментов Индустрии 5.0 в СМК промышленных предприятий на основе кросс-кейсного анализа российских и зарубежных практик, а также разработка методологического подхода к оценке готовности СМК к данной интеграции. Объектом исследования являются системы менеджмента качества промышленных предприятий, предметом – методы и механизмы интеграции инструментов Индустрии 5.0 в процессы управления качеством. Методология исследования основана на кросс-кейсном анализе 11 эмпирических кейсов, реализованных в период 2015–2024 гг. В результате исследования разработана классификация уровней интеграции инструментов Индустрии 5.0 в СМК, выявлены специфические барьеры развития СМК и предложен интегральный показатель оценки готовности СМК к цифровой трансформации. Полученные результаты могут быть использованы при планировании программ развития систем управления качеством в условиях Индустрии 5.0.

Ключевые слова: система менеджмента качества, Индустрия 5.0, управление качеством, цифровая трансформация, кросс-кейсный анализ, зрелость СМК, риск-ориентированное мышление, интегральный показатель.

Введение

Переход от парадигмы Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 требует переосмысления подходов к управлению и в первую очередь – системам менеджмента качества (СМК) [1]. СМК, будучи основой процессного управления, становится ключевым объектом и одновременно инструментом этой трансформации. В России цифровизация СМК является элементом достижения цифровой зрелости ключевых отраслей в рамках национальных целей до 2030 г. Особую остроту проблема приобретает для предприятий машиностроительного комплекса, отнесенных к объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ), где риски кибератак и сбоев многократно возрастают [2].

В современных условиях система менеджмента качества перестает выполнять исключительно регламентирующую функцию и трансформируется в инструмент стратегического и риск-ориентированного управления, обеспечивающий устойчивость и адаптивность производственных систем [3, 4].

В зарубежной литературе подчеркивается, что управление качеством данных является ключевым фактором успешной цифровой трансформации в контексте Индустрии 5.0, поскольку это влияет на принятие управленческих решений и устойчивость процессов [5].

В современных исследованиях российских авторов выявлено, что цифровая трансформация промышленных предприятий без развития управленческих механизмов СМК не приводит к устойчивому росту качества продукции и эффективности управления. Анализ эффективности цифровизации показывает, что повышение уровня цифровой зрелости кор-

релирует с улучшением управленческих результатов только при интеграции цифровых инструментов в ключевые процессы управления [6]. Кроме того, исследования социально-экономических эффектов умного производства демонстрируют, что цифровые технологии оказывают влияние только на тех предприятиях, где процессы цифровизации рассматриваются как часть управленческой архитектуры [7]. Анализ зависимости между цифровой зрелостью и устойчивостью управления выявил, что уровень интеграции цифровых решений в процессы стратегического управления является критическим фактором повышения качества управления [8]. Вместе с тем практика показывает, что внедрение цифровых решений зачастую осуществляется изолированно от действующих процедур СМК, что формирует методический разрыв между развитием технологий и управлением качеством.

Особую актуальность проблема приобретает для предприятий, относящихся к объектам критической информационной инфраструктуры. В условиях цифровизации возрастает значимость новых видов рисков, включая киберриски и риски нарушения устойчивости информационных потоков, которые должны быть интегрированы в систему управления качеством в соответствии с принципами риск-ориентированного подхода, описанного в ГОСТ Р ИСО 31000–2019.

Научная проблема исследования заключается в недостаточной разработанности методических подходов к интеграции инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества с учетом уровня зрелости управленческих процессов, требований риск-ориентированного мышления и специфики функционирования предприятий критической инфраструктуры [9, 10].

В статье СМК рассматривается как управленческая подсистема предприятия, обеспечивающая координацию процессов, ресурсов и информационных потоков в целях достижения стратегических целей в области качества.

Под термином «технологии Индустрии 5.0» понимается такая концепция развития промышленности, при которой обеспечивается комфортная и безопасная рабочая среда, используются искусственный интеллект и машинное обучение для автоматизации производственных процессов, формируется адаптивная интеллектуальная инфраструктура с применением интернета вещей, снижается воздействие на окружающую среду, обеспечиваются принципы устойчивого развития, а также минимизируются угрозы на киберфизическую систему, а под «инструменты Индустрии 5.0» – средства, обеспечивающие реализацию технологий Индустрии 5.0.

Под понятием «уровень интеграции инструментов Индустрии 5.0» понимается степень включенности цифровых инструментов в регламентированные управленческие процедуры системы менеджмента качества.

Под цифровой зрелостью понимается результат развития системы менеджмента качества, отражающий степень использования цифровых технологий в управлении, тогда как готовность СМК рассматривается как совокупность организационно-технологических предпосылок, обеспечивающих возможность интеграции цифровых инструментов. Уровень интеграции, в свою очередь, характеризует глубину включенности цифровых решений в регламентированные управленческие процедуры.

Цель статьи – на основе сравнительного анализа российских и зарубежных кейсов выявить, систематизировать и сопоставить универсальные и специфические барьеры и факторы успеха интеграции инструментов Индустрии 5.0 в СМК промышленных предприятий.

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования является кросс-кейсный анализ, применяемый для выявления повторяющихся закономерностей интеграции инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества промышленных предприятий.

В исследование включены 11 кейсов промышленных предприятий, реализованных в период 2015–2024 гг. Отбор кейсов осуществлялся по следующим критериям:

- наличие внедренного цифрового инструмента или технологии Индустрии 5.0;
- возможность оценки влияния внедрения на процессы системы менеджмента качества;
- наличие сведений о трансформации управленческих процедур;
- наличие отраслевой и организационной репрезентативности.

В рамках исследования применялись методы сравнительного анализа, структурно-функционального анализа, системного подхода, а также методы

экспертной оценки для формирования системы интегральных показателей готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0.

Информационную базу исследования составили российские и зарубежные научные публикации, посвященные цифровой трансформации промышленных предприятий, цифровой зрелости, риск-ориентированному управлению и развитию систем менеджмента качества, а также эмпирические данные по реализованным проектам цифровизации предприятий.

Анализ интеграции инструментов Индустрии 5.0 в СМК промышленных предприятий

Согласно ГОСТ Р ИСО 9001–2015, СМК основывается на процессном и риск-ориентированном подходе, а также цикле PDCA.

Российские исследователи отмечают, что именно процессный подход создает предпосылки для интеграции цифровых технологий в управленческий контур предприятия, поскольку позволяет формализовать показатели результативности и управлять ими на основе данных [11]. Подчеркивается, что цифровая трансформация промышленного предприятия эффективна лишь при обеспечении интеграции информационных систем в единый управленческий контур и синхронизации данных между уровнями управления, или если возникает проблема «фрагментарной цифровизации» [12–17].

В работе [18] показано, что цифровизация российских предприятий в большинстве случаев реализуется через внедрение отдельных информационных решений, не интегрированных в систему управления качеством и не затрагивающих регламентированные управленческие процедуры. Авторы подчеркивают, что такой подход ограничивается автоматизацией отдельных функций и не обеспечивает перехода к системному управлению на основе данных.

Схожая позиция представлена в исследовании [19], где отмечается, что влияние цифровизации на развитие системы менеджмента качества проявляется только при условии трансформации управленческих процессов, включая процедуры анализа со стороны руководства, управления рисками и принятия решений. В противном случае цифровые технологии выполняют вспомогательную функцию и не оказывают существенного влияния на уровень зрелости СМК.

В работах [20, 21] цифровизация рассматривается не как внедрение отдельных технологических решений, а как трансформация производственных и управленческих процессов на основе концепции умного производства. В частности, в исследованиях, посвященных оценке эффективности цифровизации производственных процессов, показано, что ключевым условием повышения результативности является интеграция цифровых инструментов в систему принятия управленческих решений и обеспечение сквозной связанности данных между уровнями управления. Подчеркивается, что формирование цифровой производственной среды требует не только внедрения

информационных систем, но и изменения логики управления, включая перераспределение функций анализа и контроля, что напрямую соотносится с задачами развития систем менеджмента качества.

Риск-ориентированный подход, закрепленный в ГОСТ Р ИСО 31000–2019, приобретает дополнительную значимость в условиях цифровизации; также обозначается необходимость интеграции киберрисков и рисков информационной безопасности в контур СМК. Это соответствует международным требованиям ISO/IEC 27001:2022 и усиливает взаимосвязь между цифровой трансформацией и управлением качеством.

Отдельного внимания заслуживает проблема цифровой зрелости предприятий. В ряде публикаций подчеркивается, что цифровая зрелость СМК определяется способностью предприятия использовать данные для принятия управленческих решений, прогнозирования отклонений и формирования корректирующих действий [22–24]. Таким образом, интеграция инструментов Индустрии 5.0 в СМК должна рассматриваться как управленческая трансформация, направленная на повышение устойчивости и адаптивности предприятия.

В качестве эмпирического инструмента выбран кросс-кейсный анализ, позволяющий выявить повторяющиеся закономерности интеграции цифровых инструментов в управленческий контур организации

В исследование включены 11 кейсов, реализованных в период с 2015 по 2024 г. в России, странах Азии, Европы и Америки. Промышленные предприятия, реализовавшие проекты цифровой трансформации, соответствуют следующим критериям:

- наличие внедренного цифрового инструмента;
- возможность оценки влияния внедрения на процессы СМК;
- наличие информации о трансформации управленческих процедур;
- репрезентативность отраслевой принадлежности.

По итогам анализа была выведена сравнительная таблица 1, в которой указаны: название предприятия, страна, ключевой инструмент или технология Индустрии 5.0, основная цель внедрения, а также уровень воздействия.

Выделяется два уровня воздействия – тактический (операционный) и стратегический. На тактическом уровне технологии (инструменты) применяются для оптимизации отдельных функций или процессов с целью повышения операционной активности, локального использования цифровых инструментов для автоматизации отдельных функций без трансформации архитектуры СМК.

На стратегическом уровне происходит перестройка бизнес-модели, создание новых источников стоимости и изменение парадигмы управления.

Таблица 1. Сравнительная таблица кейсов по внедрению технологий (инструментов) Индустрии 5.0

Table 1. Comparative Table of Industry 5.0 Technology (Tool) Implementation Cases

№	Название предприятия с указанием страны / Enterprise, Country	Ключевой инструмент или технология Индустрии 5.0 / Industry 5.0 Technology Tool	Основная цель внедрения инструментов / Implementation Goal	Уровень воздействия / Impact Level
1	ПАО «Нижнекамскшина» (РФ) / PJSC “Nizhnekamskshina” (Russia)	Система 5S, Kaizen / 5S and Kaizen systems	Оптимизация рабочих мест и процессов, снижение потерь / Improving workplace organization and reducing production losses	Тактический / Tactical
2	Автомобильный завод (Индонезия) / Automotive plant (Indonesia)	Коллаборативные роботы / Collaborative robots (cobots)	Повышение безопасности труда, автоматизация опасных операций / Improving workplace safety and automating hazardous tasks	Тактический / Tactical
3	Takeda Pharmaceutical (Япония) / Takeda Pharmaceutical (Japan)	Цифровой двойник, процесс исследования и разработки / Digital twin technologies in R&D	Ускорение разработки препаратов, снижение рисков и затрат / Accelerating drug development and reducing costs and risks	Стратегический / Strategic
4	ПИМУ (РФ) / Privolzhsky Research Medical University (Russia)	RFID-технологии / RFID technologies	Автоматизация инвентаризации, сокращение временных затрат / Streamlining inventory management and reducing time consumption	Тактический / Tactical
5	Gerdau (Бразилия) / Gerdau (Brazil)	Предиктивная аналитика / Predictive analytics	Сокращение внеплановых простоев, переход на предиктивное ТО / Minimizing unplanned downtime and enabling predictive maintenance	Стратегический / Strategic
6	Procter & Gamble (США) / Procter & Gamble (USA)	Облачная платформа для данных MES / Cloud-based MES platform	Оптимизация ИТ-архитектуры, ускорение аналитики / Improving IT infrastructure and speeding up analytics	Тактический / Tactical
7	Компания Bodo (РФ) / Bodo Company (Russia)	Поэтапная интеграция ERP/MES / Step-by-step ERP/MES integration	Масштабирование управления при росте бизнеса, снижение рисков / Supporting business growth and reducing operational risks	Стратегический / Strategic

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

№	Название предприятия с указанием страны / Enterprise, Country	Ключевой инструмент или технология Индустрии 5.0 / Industry 5.0 Technology Tool	Основная цель внедрения инструментов / Implementation Goal	Уровень воздействия / Impact Level
8	«Зартекс» (РФ) / «Zarteks» (Russia)	Чат-бот / Chatbot technology	Автоматизация обработки заказов, повышение скорости реакции / Automating order processing and improving response time	Тактический / Tactical
9	ООО «Велес-Агро» (РФ) / Veles-Agro LLC (Russia)	Отраслевая ERP-система – «1C:ERP» / Industry-specific ERP system «1C:ERP»	Комплексная автоматизация учета и управления производством / Integrating production and management processes into a unified system	Стратегический / Strategic
10	АО «Автоцентр КрасГАЗсервис» (РФ) / «Avtocenter KrasGAZservice» (Russia)	ПО для онлайн-записи и CRM / Online booking software and CRM	Оптимизация загрузки мощностей, повышение клиентоориентированности / Improving workload planning and customer service quality	Тактический / Tactical
11	Завод BMW (Германия) / BMW Plant (Germany)	Система «Умный завод» (IoT, Cobots, AI) / Smart factory technologies (IoT, cobots, AI)	Снижение простоев, повышение гибкости и безопасности / Increasing flexibility, safety, and operational efficiency	Стратегический / Strategic

Установлено, что в российских кейсах преобладают проекты, ориентированные на автоматизацию отдельных процессов СМК (учет, мониторинг, сервисное взаимодействие), что соответствует тактическому уровню интеграции. Такие решения, как правило, реализуются без пересмотра процессной модели СМК и используются преимущественно на операционном уровне управления.

Зарубежные кейсы в большей степени ориентированы на стратегический уровень интеграции, предполагающий использование цифровых инструментов в процессах анализа со стороны руководства, управления рисками и планирования улучшений. Это позволяет формировать проактивную модель управления качеством, основанную на прогнозировании и анализе данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в ходе кросс-кейсного анализа результаты позволяют сделать ряд теоретически и практически значимых выводов относительно характера интеграции инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества промышленных предприятий.

В отличие от работ, рассматривающих цифровизацию преимущественно как внедрение информационных технологий, результаты анализа подтверждают, что решающим фактором является степень управленческой интеграции цифровых инструментов в СМК.

Преобладание тактического уровня интеграции в российских кейсах свидетельствует о сохранении инструментального подхода к цифровизации, при котором цифровые решения используются для повышения эффективности отдельных процессов без изменения логики управления качеством.

Прежде всего эмпирические данные подтверждают, что ключевым фактором эффективности цифровой трансформации является не количество внедренных технологий, а степень их включенности в управленческий контур СМК. Предприятия, реализующие

цифровые проекты на тактическом уровне, ограничиваются автоматизацией отдельных процессов (учет, мониторинг, логистика, взаимодействие с клиентами), при этом архитектура управленческих процедур остается неизменной. В таких случаях цифровизация носит инструментальный характер и не приводит к качественному росту зрелости системы управления.

Напротив, стратегический уровень интеграции характеризуется трансформацией управленческих процедур. Цифровые инструменты становятся частью систем стратегического планирования в области качества, процедур управления рисками, механизма формирования корректирующих и предупреждающих действий.

Именно при таком уровне интеграции наблюдается переход от реактивного управления к проактивному, основанному на прогнозной аналитике и данных в режиме реального времени.

Сравнительный анализ кейсов выявил наличие устойчивого управленческого различия между предприятиями, ориентированными на локальную оптимизацию, и предприятиями, формирующими цифровую управленческую архитектуру. В первом случае цифровые решения не влияют на структуру распределения ответственности и регламент принятия решений. Во втором происходит перераспределение функций анализа, усиление роли данных в управлении и изменение логики управленческого контроля.

Особое значение имеет выявленный методический разрыв между внедрением цифровых технологий и формализацией соответствующих рисков в рамках СМК. Несмотря на нормативные требования риск-ориентированного подхода, в ряде кейсов киберриски и риски информационной безопасности не интегрированы в процедуры оценки и управления. Это создает потенциальную уязвимость цифровизированных процессов и снижает устойчивость системы управления в целом.

Результаты анализа позволяют также уточнить понятие «цифровая зрелость СМК». В отличие от распространенных трактовок, связывающих зрелость с уровнем автоматизации или внедрения ИТ-платформ, в рамках настоящего исследования зрелость определяется степенью институционализации цифровых инструментов в управленческих процедурах с учетом киберрисков.

Таким образом, для оценивания готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0 необходимо учитывать наличие качественно различных уровней интеграции инструментов. Разработка интегрального показателя по блочно-модульному принципу позволяет обеспечить измеримость уровня управленческой интеграции цифровых инструментов и основывается на документированных данных СМК и корпоративных информационных систем, дополняемых экспертной оценкой при отсутствии формализованных данных.

Предлагается выделить 4 блока с частными индикаторами.

1. Процессная зрелость СМК – для оценки степени формализации и управляемости процессов в условиях цифровой трансформации:

- а) уровень формализации процессов СМК (наличие регламентов, карт процессов);
- б) степень цифровой регламентации процессов (использование BPM-систем, цифровых инструкций);
- с) наличие цифровых показателей результативности процессов (KPI, BI-аналитика);
- д) уровень автоматизации мониторинга процессов (SCADA, MES, системы контроля);
- е) степень интеграции процессов СМК с информационными системами предприятия.

2. Интеграция цифровых инструментов в управленческий контур – для оценки глубины включенности цифровых решений в стратегическое и операционное управление:

- а) уровень внедрения ERP-систем в управленческие процессы;
- б) степень использования MES-систем для управления производством;
- с) уровень интеграции данных между информационными системами;
- д) использование аналитических систем (BI, Big Data) при принятии решений;
- е) степень включенности цифровых инструментов в процедуры стратегического управления.

3. Компетенции и организационная готовность персонала для оценки институциональной способности предприятия использовать цифровые инструменты в СМК:

- а) уровень цифровых компетенций управленческого персонала;
- б) уровень подготовки персонала к работе с цифровыми системами;
- с) наличие регламентов и стандартов работы с данными;
- д) уровень вовлеченности персонала в цифровые процессы;

е) наличие организационной структуры, поддерживающей цифровую трансформацию (ИТ-подразделения, аналитические центры).

4. Риск-ориентированное управление в цифровой среде для оценки зрелости интеграции цифровых рисков в СМК:

- а) степень интеграции цифровых рисков в СМК;
- б) учет киберрисков в процедурах управления;
- с) наличие систем мониторинга информационной безопасности;
- д) использование цифровых инструментов для оценки рисков;
- е) уровень интеграции риск-менеджмента в цифровую среду предприятия.

В каждом блоке присутствует система частных индикаторов, отражающих степень управленческой интеграции. Для обеспечения сопоставимости и воспроизводимости оценки каждый показатель рассматривается по единому шаблону: оцениваемый признак, источник данных и степень его реализации. Источниками данных выступают документация СМК, регламенты и карты процессов, данные корпоративных информационных систем, реестры рисков, управленческая отчетность, документы по подготовке персонала, а при отсутствии формализованных данных – экспертная оценка. В качестве оцениваемых признаков используются наличие и степень охвата процессов соответствующими регламентами, цифровыми инструментами и информационными системами, применение цифровых данных при принятии управленческих решений, наличие установленных компетенций и организационных механизмов, а также включение цифровых и киберрисков в процедуры СМК. Способ измерения определяется характером показателя и предусматривает документарную проверку наличия признака и оценку степени его распространения на соответствующие процессы СМК. Выбор формулы частного индекса основан на необходимости нормирования разнотипных показателей, обеспечении их сопоставимости и применении аддитивной модели агрегации, обладающей интерпретируемостью и устойчивостью при диагностических оценках. Использование среднеарифметической нормированной суммы позволяет обеспечить линейную структуру вклада критериев и формирование интегрального показателя в диапазоне от 0 до 1.

Частный индекс блока I_i рассчитывается по формуле

$$I_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{P_{ij}}{P_{\max}},$$

где n_i – количество показателей в i -м блоке; P_{ij} – значение j -го показателя; $P_{\max}$ – максимальное значение шкалы.

Значение показателя P_{ij} определяется на основании документально подтверждаемых признаков и данных информационных систем, а при их отсутствии – методом экспертной оценки. При этом используется единая трехуровневая шкала:

- 0 – оцениваемый признак отсутствует, либо соответствующий инструмент или процедура не применяется;
- 0,5 – признак подтвержден частично, соответствующий инструмент или процедура применяются только в отдельных процессах СМК либо не имеют полной регламентации;
- 1 – признак документально подтвержден, соответствующий инструмент или процедура регламентированы и системно применяются в охватываемых оценкой процессах СМК.

Интегральный показатель готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0 определяется как взвешенная сумма частных индексов и рассчитывается по формуле

$$I_{\text{СМК}} = \sum_{i=1}^m w_i I_i,$$

где w_i – весовой коэффициент блока; m – количество блоков (в предлагаемой методике 4 блока, каждый из которых включает систему показателей).

Весовые коэффициенты можно определять экспертным методом, методом аналитической иерархии либо приниматься равными при отсутствии эмпирических оснований для дифференциации.

Для интерпретации шкалы вводится градация, представленная в таблице 2.

Для практического применения предложенного методологического подхода сформирован алгоритм оценки готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0 (см. рисунок).

Таблица 2. Градация для интерпретации интегрального показателя

Table 2. Scale for Interpreting the Integral Indicator

Значение $I_{\text{СМК}}$ / Value of the indicator $I_{\text{СМК}}$	Уровень готовности / Readiness Level
0,00...0,30	Низкая готовность / Low Readiness
0,31...0,60	Средний уровень / Medium Readiness Level
0,61...0,80	Высокая готовность / High Readiness Level
0,81...1,00	Зрелая цифровая готовность / Advanced Digital Readiness

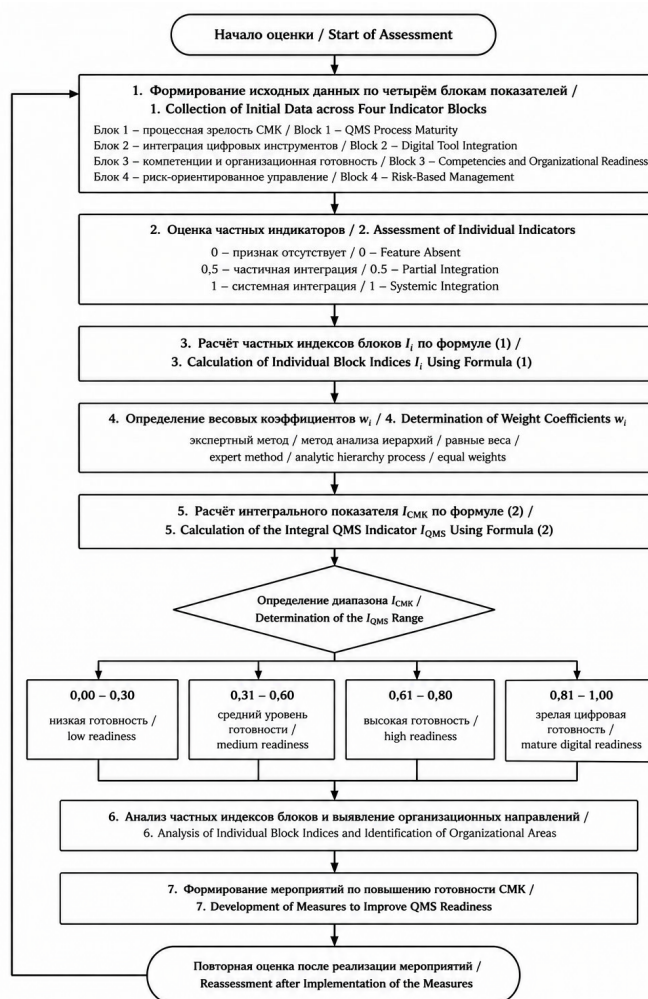


Рис. 1. Алгоритм оценки готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0

Fig 1. Algorithm for assessing QMS readiness for the integration of Industry 5.0 tool

Алгоритм предусматривает последовательное формирование исходных данных по четырем блокам показателей, оценивание частных индикаторов, расчет частных индексов и интегрального показателя с последующим определением уровня готовности СМК и выявлением направлений ее развития.

Полученное значение интегрального показателя определяет общий уровень готовности СМК в соответствии с градацией, представленной в таблице 2. При этом для формирования управленческих решений дополнительно анализируются значения частных индексов отдельных блоков, что позволяет определить направления, ограничивающие готовность СМК, и сформировать соответствующие мероприятия. После их реализации оценка может проводиться повторно, обеспечивая циклический характер применения методики.

Выводы

Проведенный кросс-кейсный анализ 11 российских и зарубежных практик позволил выявить и сопоставить устойчивые барьеры и факторы успешной интеграции инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества, определить различия между тактическим и стратегическим уровнями интеграции и на этой основе сформировать методический подход к оценке готовности СМК.

Установлено, что эффективность цифровой трансформации определяется не масштабом внедрения технологий, а степенью их включенности в регламентированные управленческие процедуры СМК. Цифровые инструменты обеспечивают устойчивый управленческий эффект лишь при их интеграции в процессы стратегического планирования, анализа со стороны руководства, управления рисками и формирования корректирующих действий.

На основе кросс-кейсного анализа выделены два уровня интеграции: тактический и стратегический. Тактический уровень характеризуется локальной автоматизацией функций без изменения архитектуры управления качеством. Стратегический уровень предполагает институционализацию цифровых инструментов в контуре управления и переход к проактивному управлению на основе данных.

Сопоставление исследованных кейсов позволило систематизировать основные барьеры и факторы успешной интеграции инструментов Индустрии 5.0 в СМК. К универсальным барьерам относятся: фрагментарность цифровизации, слабая интеграция информационных систем и данных, сохранение неизменных управленческих процедур при внедрении цифровых решений, а также недостаточная формализация цифровых и киберрисков в контуре СМК. Для российских кейсов наиболее характерным является преобладание локальной автоматизации отдельных функций, не сопровождаемой пересмотром процессной модели СМК. В качестве факторов успешной интеграции установлены сквозная связанность данных, включение цифровых инструментов в процедуры стратегического планирования, анализа со стороны руководства и управления рисками, регламентация их использования и переход к прогнозному

принятию решений. Именно сочетание указанных факторов отличает стратегический уровень интеграции от тактического и определяет переход от инструментальной цифровизации к цифровой зрелости СМК.

Разработан методический подход к оценке готовности СМК к интеграции инструментов Индустрии 5.0, включающий систему частных показателей и интегральный индекс. Предложенная модель позволяет количественно оценивать уровень управленческой интеграции цифровых решений, проводить межорганизационные сопоставления и выявлять направления развития.

Практическая значимость результатов заключается в возможности применения разработанного инструментария для диагностики зрелости СМК и формирования программ управляемой цифровой трансформации промышленных предприятий.

Библиографические ссылки

1. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 61, pp. 530-535. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006
2. Гришаева С. А. Управление качеством процессов системы менеджмента качества в условиях цифровой трансформации предприятия // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2023. № 12. С. 49–52. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-49-50
3. Wang, J., Wu Z., Wang T. (2025) Data Quality Improvement Supports Digital Transformation in Industry 5.0. *Sustainability*, no. 17 (24). DOI: 10.3390/su172411183
4. Перева О. Л., Волченков Д. Н. Цифровизация предприятия как основной инструмент повышения качества // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2024. № 4. С. 70–75. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-70-71
5. Илькевич С. В. Стратегия цифровой трансформации промышленных предприятий: эффекты внедрения технологий умного производства // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2022. № 13 (3). С. 210–225. DOI: 10.17747/2618-947X-2022-3-210-225
6. Чалый А. Д. Влияние уровня цифровой зрелости на качество стратегического управления в организациях региона Дальнего Востока // *Современные технологии управления*. № 3: 11108 [Электронный ресурс]. URL: <https://sovman.ru/en/article/11108/> (дата обращения: 16.01.2026).
7. Кудрявцева С. С., Матусевич И. Р., Халиulin Р. А. Технологии цифровизации систем менеджмента качества бизнес-процессов предприятия // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2022. Т. 24, № 4 (108). С. 37–41. DOI: 10.3731381990-5378-2022-24-4-37-41
8. Антипова О. И., Горохова Д. А. Подходы к цифровизации систем менеджмента качества // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2023. № 12. С. 106–109. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-106-107
9. Салимова Т. А., Бирюкова Л. И., Аникина Н. В. Трансформация бизнеса в условиях цифровой экономики: зарубежный подход и российские возможности // *Регионоведение*. 2021. Т. 29, № 2. С. 328–354. DOI: 10.15507/2413-1407.115.029.202102.328-354
10. Шкодинский С. В., Степанов Д. А. Цифровизация деятельности промышленных предприятий как стратегический фактор их устойчивого развития // *Проблемы рыноч-*

ной экономики. 2021. № 4. С. 40–49. DOI: 10.33051/2500-2325-2021-4-40-49

11. Краковская И. Н., Корокошко Ю. В., Слушкина Ю. Ю. Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2024. № 40 (3). С. 433–459. DOI: 10.21638/spbu05.2024.305

12. Курлов В. В., Косухина М. А., Курлов А. В. Модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия // Экономика и управление. 2022. Т. 28, № 5. С. 439–451. DOI: 10.35854/1998-1627-2022-5-439-451

13. Спиридонова А. А., Хомутова Е. Г. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выбора методов управления рисками // Организатор производства. 2017. Т. 25, № 2. С. 92–100. DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-2-92-100

14. Яшин Н. С., Круподерова М. А. Совершенствование риск-ориентированного подхода в системе менеджмента качества в условиях цифровизации // Инновационная деятельность. 2022. № 4 (63). С. 70–80. EDN RYBBLE

15. Шинкевич А. И., Касимова А. Р., Алексеева А. А. Использование цифровых двойников для экологизации химической промышленности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 4 (114). С. 87–94. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-87-94. EDN QGNMGR

16. Круподерова М. А., Максимова Т. П. Проблемы цифровизации систем менеджмента качества российских предприятий и цифровые перспективы развития // Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева. 2023. Т. 2, № 3. С. 79–93. DOI: 10.51965/2076-7919_2023_2_3_79

17. Левченко Е. В. Влияние цифровизации на развитие системы менеджмента качества // Вестник СГСЭУ. 2018. № 4 (73). С. 9–14.

18. Шинкевич А. И., Надеждина М. Е. Методика оценки эффективности цифровизации производственных процессов нефтехимического предприятия // Вестник Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2021, вып. 2 (137). С. 72–84. DOI: 10.18698/0236-3941-2021-2-72-84

19. Нургалеев Р. К., Шинкевич А. И. Логико-информационная модель управления процессами «умного» производства // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23, № 2. С. 29–36. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-29-36

20. Чурсин А. А., Кокуйцева Т. В. Развитие методов оценки цифровой зрелости организации с учетом регионального аспекта // Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 2. С. 450–463. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-2-11

References

1. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 61, pp. 530-535. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006

2. Grishaeva S.A. (2023) [Quality management of quality management system processes under conditions of enterprise digital transformation]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, no. 12, pp. 49-52. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-49-50 (in Russ.).

3. Wang J., Wu Z., Wang T. (2025) Data Quality Improvement Supports Digital Transformation in Industry 5.0. *Sustainability*, no. 17 (24). DOI: 10.3390/su172411183

4. Pererva O.L., Volchenkov D.N. (2024) [Enterprise digitalization as a key tool for quality improvement]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, no. 4, pp. 70-75. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-70-71 (in Russ.).

5. Ilkevich S.V. (2022) [Strategy of digital transformation of industrial enterprises: effects of implementing smart manufacturing technologies]. *Strategicheskie resheniya i risk-meneditment*, vol. 13, no. 3, pp. 210-225. DOI: 10.17747/2618-947X-2022-3-210-225 (in Russ.).

6. Chalyj A.D. (2024) [The influence of digital maturity on the quality of strategic management in organizations of the Far Eastern region]. *Sovremennye tekhnologii upravleniya*, no. 3 (111) [Electronic resource]. Available at: <https://sovman.ru/en/article/11108/> (accessed: 16.01.2026) (in Russ.).

7. Kudryavceva S.S., Matusevich I.R., Khaliulin R.A. (2022) [Technologies for digitalization of enterprise business process quality management systems]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, vol. 24, no. 4 (108), pp. 37-41. DOI: 10.3731381990-5378-2022-24-4-37-41 (in Russ.).

8. Antipova O.I., Gorokhova D.A. (2023) [Approaches to the digitalization of quality management systems]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, no. 12, pp. 106-109. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-106-107 (in Russ.).

9. Salimova T.A., Biryukova L.I., Anikina N.V. (2021) [Business transformation in the digital economy: foreign approaches and Russian opportunities]. *Regionologiya*, vol. 29, no. 2, pp. 328-354. DOI: 10.15507/2413-1407.115.029.202102.328-354 (in Russ.).

10. Shkodinskij S.V., Stepanov D.A. (2021) [Digitalization of industrial enterprises as a strategic factor of sustainable development]. *Problemy rynochnoj ekonomiki*, no. 4, pp. 40-49. DOI: 10.33051/2500-2325-2021-4-40-49 (in Russ.).

11. Krakovskaya I.N., Korokoshko Yu.V., Slushkina Yu.Yu. (2024) [Digital maturity of industrial enterprises: assessment experience]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika*, vol. 40, no. 3, pp. 433-459. DOI: 10.21638/spbu05.2024.305 (in Russ.).

12. Kurllov V.V., Kosukhina M.A., Kurllov A.V. (2022) [Model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise]. *Ekonomika i upravlenie*, vol. 28, no. 5, pp. 439-451. DOI: 10.35854/1998-1627-2022-5-439-451 (in Russ.).

13. Spiridonova A.A., Homutova E.G. (2017) [Risk-oriented approach in the quality management system of an industrial enterprise: the problem of selecting risk management methods]. *Organizator proizvodstva*, vol. 25, no. 2, pp. 92-100. DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-2-92-100 (in Russ.).

14. Yashin N.S., Krupoderova M.A. (2022) [Improvement of the risk-oriented approach in the quality management system under conditions of digitalization]. *Innovacionnaya deyatel'nost'*, no. 4 (63), pp. 70-80 (in Russ.).

15. Shinkevich A.I., Kasimova A.R., Alekseeva A.A. (2023) [The use of digital twins for greening the chemical industry]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, vol. 25, no. 4 (114), pp. 87-94. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-87-94 (in Russ.).

16. Krupoderova M.A., Maksimova T.P. (2023) [Problems of digitalization of quality management systems of Russian enterprises and digital development prospects]. *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva*, vol. 2, no. 3, pp. 79-93. DOI: 10.51965/2076-7919_2023_2_3_79 (in Russ.).

17. Levchenko E.V. (2018) [The impact of digitalization on the development of the quality management system]. *Vestnik SGSEU*, no. 4 (73), pp. 9-14 (in Russ.).

18. Shinkevich A.I., Nadezhkina M.E. (2021) [Methodology for assessing the efficiency of digitalization of production processes in a petrochemical enterprise]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Mashinostroenie*, no. 2 (137), pp. 72-84. DOI: 10.18698/0236-3941-2021-2-72-84 (in Russ.).

19. Nurgaliev R.K., Shinkevich A.I. (2021) [Logical-information model for managing “smart manufacturing” processes]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, vol. 23, no. 2, pp. 29-36. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-29-36 (in Russ.).

20. Chursin A.A., Kokujceva T.V. (2022) [Development of methods for assessing organizational digital maturity considering the regional aspect]. *Ekonomika regiona*, vol. 18, is. 2, pp. 450-463. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-2-11 (in Russ.).

Integration of Industry 5.0 Tools into Quality Management Systems of Industrial Enterprises

A.R. Kasimova, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

The digital transformation based on the principles of Industry 5.0 poses new challenges for quality management systems (QMS) of industrial enterprises. Despite the wide range of available technological solutions, organizational, managerial, and technical barriers remain the main obstacles to their successful integration. Although digital technologies are being actively implemented, their integration into existing QMSs is often fragmented and does not lead to an increase in the maturity of management processes. The purpose of this article is to identify and scientifically substantiate the factors and barriers affecting the integration of Industry 5.0 tools into the QMS of industrial enterprises based on a cross-case analysis of Russian and international practices, as well as to develop a methodological approach for assessing QMS readiness for such integration. The object of the study is the quality management systems of industrial enterprises, while the subject of the study includes the methods and mechanisms for integrating Industry 5.0 tools into quality management processes. The research methodology is based on a cross-case analysis of 11 empirical cases implemented during the period from 2015 to 2024. As a result of the study, a classification of integration levels for Industry 5.0 tools within QMSs was developed, specific barriers to QMS development were identified, and an integral indicator for assessing QMS readiness for digital transformation was proposed. The obtained results may be applied in planning quality management system development programs under Industry 5.0 conditions.

Keywords: quality management system, Industry 5.0, quality management, digital transformation, cross-case analysis, QMS maturity, risk-oriented thinking, integral indicator.

Получено 19.05.2026

Образец цитирования

Касимова А. Р. Интеграция инструментов Индустрии 5.0 в системы менеджмента качества промышленных предприятий // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2026. Т. 29, № 3. С. 55–63. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-3-55-63

For Citation

Kasimova A.R. (2026) [Integration of Industry 5.0 Tools into Quality Management Systems of Industrial Enterprises]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 29, no. 2, pp. 55-63. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-3-55-63 (in Russ.).