



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70>

УДК 658.562:004.9

АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

М. Р. ТИХОНОВ

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (Москва, Российская Федерация)

Аннотация. В условиях цифровой трансформации промышленности управление качеством сталкивается с необходимостью пересмотра традиционных подходов, основанных на выборочном контроле и статистических методах, в пользу проактивных и предиктивных моделей, интегрированных в цифровую среду предприятия. Однако в литературе отсутствует системный анализ процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к цифровой трансформации, что затрудняет выбор эффективных стратегий внедрения интеллектуальных инструментов. Научная новизна исследования заключается в систематизации основных процессов управления качеством, идентификации ключевых барьеров, препятствующих цифровизации, и определении факторов, влияющих на пригодность процессов к автоматизации. Особый интерес представляет анализ влияния человеческого фактора, проблем интеграции разнородных информационных систем и ограничений, связанных с формализацией аналитических процессов, на эффективность цифровой трансформации. Аргументы автора склоняются в пользу системного подхода к цифровизации, предполагающего предварительный анализ и корректировку существующих процессов, поэтапное внедрение с акцентом на управленческие процессы, а также развитие компетенций персонала как необходимого условия успеха. Полученные результаты могут быть использованы руководителями и специалистами по качеству при планировании проектов цифровой трансформации на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: цифровая трансформация, управление качеством, процессы управления качеством, цифровизация, человеческий фактор, интеграция информационных систем, интеллектуальные системы, промышленные предприятия, статистическое управление процессами, индексы воспроизводимости.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Тихонов, М. Р. Анализ цифровой трансформации процессов управления качеством / М. Р. Тихонов // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 62–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70>.

ANALYSIS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF QUALITY MANAGEMENT PROCESSES

MARTIN TIKHONOV

National Research University of Electronic Technology (Moscow, Russian Federation)

Abstract. In the context of the digital transformation of industry, quality management is faced with the need to revise traditional approaches based on sampling and statistical methods in favor of proactive and predictive models integrated into the enterprise's digital environment. However, the literature lacks a systematic analysis of quality management processes in terms of their suitability for digital transformation, which complicates the selection of effective strategies for implementing intelligent tools. The scientific novelty of this study lies in the systematization of key quality management processes, the identification of key barriers hindering digitalization, and the determination of factors influencing the suitability of processes for automation. Of particular interest is the analysis of the influence of the human factor, problems of integrating heterogeneous information systems, and limitations associated with the formalization of analytical processes on the effectiveness of digital transformation. The author's arguments favor a systems approach to digitalization, which involves preliminary analysis and adjustment of existing processes, phased implementation with an emphasis on management processes, and the development of personnel

competencies as a prerequisite for success. The obtained results can be used by managers and quality specialists when planning digital transformation projects at industrial enterprises.

Keywords: digital transformation, quality management, quality management processes, digitalization, human factors, information systems integration, intelligent systems, industrial enterprises, statistical process control, reproducibility indices.

Conflict of interests. The author declares that there is no conflict of interests.

For citation. Tikhonov M. (2026) Analysis of Digital Transformation of Quality Management Processes. *Digital Transformation*. 32 (3), 62–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70> (in Russian).

Введение

В условиях перехода к «Индустрии 4.0» управление качеством все чаще рассматривается не как изолированная функция контроля, а как сквозной процесс, интегрированный в цифровую среду предприятия [1, 2]. Традиционные подходы, основанные на выборочном контроле и статистическом управлении процессами, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с высокоскоростными и многономенклатурными производствами, где время принятия решений критично, а объемы данных превышают возможности человеческого анализа. Цифровая трансформация в этой области предполагает переход от реактивных моделей («обнаружил дефект – исправил») к проактивным и предиктивным, базирующимся на непрерывном мониторинге параметров оборудования и продукции, а также применении методов машинного обучения и нечеткой логики.

Предметом настоящего исследования выступают процессы управления качеством в дискретных производствах, в частности этапы проектирования, входного контроля материалов, операционного контроля и анализа результативности процессов. Цель – в систематизации и анализе процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к цифровой трансформации, в выявлении ключевых барьеров, препятствующих внедрению цифровых инструментов, и определении возможных эффектов от такой трансформации. Гипотеза исследования состоит в том, что системный анализ процессов управления качеством позволяет выявить факторы, определяющие потенциал процессов к цифровизации, определить наиболее эффективные направления внедрения интеллектуальных инструментов и сформулировать практические рекомендации по выбору стратегии цифровой трансформации.

Актуальность работы обусловлена как промышленными запросами на сокращение потерь от несоответствий, так и недостаточной проработанностью методических подходов к интеграции интеллектуальных систем в существующие QMS-решения [3, 4]. В литературе широко представлены отдельные аспекты цифровизации качества – от применения контрольных карт Шухарта до использования нейросетей для классификации дефектов [5, 6]. Однако комплексные аналитические модели, позволяющие оценить готовность различных процессов к цифровой трансформации и систематизировать сопутствующие риски, остаются малоизученными.

В статье предложен структурированный взгляд на процессы, поддающиеся цифровой трансформации, на проблематику их внедрения и последствия такой трансформации для операционной эффективности. Рассмотрены основные процессы управления качеством, идентифицированы ключевые проблемы, присущие современным системам менеджмента качества, определены факторы, влияющие на выбор стратегии цифровизации процессов, а также проанализированы возможные эффекты от ее внедрения – как количественные, так и качественные. На основе проведенного анализа сформулированы практические рекомендации для организаций, приступающих к цифровой трансформации управления качеством.

Анализ проблематики в процессах управления качеством

Прежде чем перейти к рассмотрению возможностей цифровой трансформации, необходимо идентифицировать ключевые проблемы, присущие современным системам менеджмента качества на промышленных предприятиях. Анализ практики управления качеством показывает, что эффективность традиционных подходов ограничивается рядом системных факторов, которые не могут быть устранены исключительно за счет внедрения электронного документооборота или автоматизации учета.

Одной из центральных проблем остается человеческий фактор, проявляющийся в нескольких аспектах [7, 8]. Во-первых, любое изменение устоявшихся процедур встречает сопротивление со стороны персонала, что особенно остро проявляется при попытках внедрения цифровых инструментов в среде, где десятилетиями формировались «неписанные» правила и неформальные практики контроля. Даже при наличии систем электронного документооборота, которые сами по себе не являются новой концепцией, переход к полностью цифровому управлению качеством наталкивается на психологический барьер – операторы и мастера воспринимают новые интерфейсы и алгоритмы как угрозу привычной логике работы.

Во-вторых, цифровая трансформация процессов нередко сдерживается дефицитом необходимых компетенций. Не все сотрудники обладают уверенными навыками работы с персональным компьютером, не говоря уже о знании специфики конкретного программного обеспечения, предназначенного для статистического анализа данных или управления инцидентами качества. Это приводит к ситуации, когда даже при наличии развитого инструментария его функциональные возможности используются не в полной мере, а принятие решений остается в зоне субъективных экспертных оценок.

Важно отметить, что не все процессы в равной степени поддаются цифровизации. Особую группу составляют аналитические процессы, в том числе интерпретация контрольных карт Шухарта и индексов воспроизводимости. Формальный расчет данных показателей при наличии автоматизированных систем не представляет сложности и может быть выполнен с высокой точностью, исключая ошибки, связанные с человеческим фактором на этапе вычислений. Однако содержательная интерпретация полученных результатов требует глубокого знания не только статистических методов, но и специфики технологического процесса, организации производства, влияния внешней среды. Такие знания носят контекстный характер и не могут быть полностью формализованы.

В этой связи принципиальным является вопрос о границах цифровизации в управлении качеством. Цифровые системы и искусственный интеллект [9, 10] способны выявлять скрытые связи между элементами процесса, однако управление качеством предполагает изначальное знание об объекте управления – его структуре, поведении, критических точках. Это означает, что ИИ-решения в данной области в первую очередь выступают в роли вспомогательных инструментов, а не замены человека. Ответственность за принятие решений, особенно в нештатных ситуациях, остается за оператором или инженером по качеству, поскольку системы не могут нести ответственность за последствия своих рекомендаций. Таким образом, ключевая задача цифровой трансформации заключается не в автоматизации принятия решений, а в формировании обоснованных рекомендаций, снижающих когнитивную нагрузку на человека и позволяющих ему сосредоточиться на наиболее сложных аспектах анализа.

Другой значимой проблемой является интеграция разрозненных информационных систем. На многих предприятиях одновременно функционируют ERP-системы (учет и планирование), MES-системы (исполнение на уровне цеха), SCADA-системы (сбор данных с датчиков) и специализированные модули контроля качества, зачастую представленные отдельными файлами в формате электронных таблиц [11, 12]. Такое разнообразие инструментов создает предпосылки для ошибок при переносе данных между системами – как ручных, так и автоматизированных. Более того, работа в нескольких системах требует от сотрудника знания интерфейсов и логики каждой из них, что увеличивает объем «лишней» для его непосредственных задач информации, которую он вынужден удерживать в памяти.

Особую остроту приобретает проблема дублирования данных и связанная с ней версионность. Одна и та же информация о параметрах продукции или характеристиках процесса может храниться в различных системах, и вопрос актуальности данных в каждом из мест становится критическим. При отсутствии настроенной синхронизации возникают ситуации, когда в одной системе информация обновлена, а в другой – устарела, что создает риски принятия неверных решений. Прослеживаемость изменений, их авторство и время внесения также затрудняются при множестве источников данных, что противоречит базовым принципам управления качеством.

Наконец, необходимо отметить проблему выявления и анализа скрытых дефектов. Потери результирующего качества продукции в значительной степени связаны с дефектами элементов,

которые не проявляются на ранних этапах производственного цикла, а обнаруживаются только на финальных стадиях контроля или в процессе эксплуатации. Прогнозирование таких отказов – нетривиальная задача, поскольку требует анализа совокупности косвенных признаков, часто распределенных во времени и пространстве. Именно здесь цифровая трансформация может предложить наиболее перспективные решения – за счет применения методов нечеткой логики, машинного обучения и многомерного статистического анализа. Однако реализация таких систем сталкивается с необходимостью формализации экспертных знаний, установления корректных диапазонов отнесения для входных параметров и разработки механизмов формирования рекомендаций, что требует отдельной методической проработки.

Таким образом, анализ проблематики показывает, что ключевыми барьерами на пути цифровой трансформации управления качеством являются человеческий фактор, ограниченная формализуемость аналитических процессов, сложность интеграции разнородных систем и недостаточная развитость методов прогнозирования скрытых дефектов. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, совмещающего математическое моделирование, экспертные знания и продуманную архитектуру цифровых инструментов.

Анализ процессов управления качеством

Переход от идентификации проблем к определению направлений цифровой трансформации требует системного анализа процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к автоматизации, степени формализуемости и допустимой глубины цифрового вмешательства. Рассмотрим основные группы процессов, оценим потенциал их цифровизации и сформулируем рекомендации по выбору стратегии внедрения.

Процессы управления качеством, как и любые управленческие процессы, характеризуются формализацией с точки зрения входов, выходов, ресурсов и управляющих воздействий. Это свойство делает их в той или иной степени пригодными к цифровизации, однако глубина и масштаб автоматизации могут существенно варьироваться в зависимости от уровня управления и специфики конкретных задач.

Выбор последовательности цифровизации в значительной степени зависит от области деятельности организации и ее текущего уровня зрелости в управлении качеством. Возможны два основных подхода. Первый предполагает системное внедрение комплексных решений, охватывающих все уровни управления – от стратегического до операционного. Такой подход требует значительных инвестиций, однако обеспечивает целостность информационной среды и минимизирует проблемы интеграции в будущем. Глобальные системы управления качеством, содержащие типовые процессы и методы с возможностью их настройки под специфику предприятия, позволяют покрыть все функциональные области единым решением.

Второй подход заключается в последовательном внедрении прикладных решений для отдельных процессов или операций. Движение от нижних уровней (операционный контроль) к верхним (стратегическое планирование) в этом случае является оправданным, поскольку позволяет поэтапно оценивать эффективность цифровых инструментов и адаптировать их к реальным условиям. Однако данный путь сопряжен с риском возникновения множества разнородных систем, проблемы интеграции и взаимодействия которых могут нивелировать ожидаемые эффекты от автоматизации. Таким образом, ключевым фактором успеха выступает системность подхода: при отсутствии возможности полной цифровизации следует стремиться к унификации интерфейсов и протоколов обмена данными между внедряемыми решениями.

Процессы управления качеством охватывают все этапы жизненного цикла продукции, и каждый из них обладает своим потенциалом для цифровизации: проектирование и разработка формализованы и поддерживаются инструментами, но полная автоматизация планирования и решений здесь затруднена вопросами ответственности, тогда как закупки и взаимодействие с поставщиками, напротив, имеют давно проработанные цифровые интерфейсы (от электронного обмена до оценки на основе статистики), где цифровизация дает измеримые результаты без значительных рисков; наиболее благодатными областями остаются производство и операционный контроль, где внедрение систем сбора данных в реальном времени позволяет перейти к непрерывному мониторингу, и на операционном уровне система способна самостоятельно кор-

ректировать управляющее воздействие для возврата показателей в допустимые границы, если это физически допускается процессом (но при этом важно различать такие автономные сценарии и процессы, где участие человека обязательно); верификация и валидация также автоматизируются в части сбора результатов и статистической обработки, однако интерпретация и решения о судьбе продукции остаются за человеком, равно как и стратегические выводы из обратной связи от потребителей.

Центральным элементом, соединяющим цифровые инструменты и человека, принимающего решения, является подсистема рекомендаций. Ценность таких рекомендаций наиболее высока на тех этапах управления, где необходимо принимать решения в условиях неопределенности – преимущественно на стратегическом и тактическом уровнях. На стратегическом уровне рекомендации могут касаться пересмотра политики в области качества, корректировки целей, изменения подходов к управлению рисками, на тактическом – оптимизации допусков, пересмотра периодичности контроля, корректировки планов выборочного контроля. На операционном уровне, как уже отмечалось, возможно полное исключение человека из контура управления при условии надежности системы и допустимости автоматического воздействия на процесс.

Важно подчеркнуть, что рекомендации не должны подменять собой экспертизу, а призваны снижать когнитивную нагрузку на оператора и лиц, принимающих решения, предоставляя им структурированную и релевантную информацию. Формирование рекомендаций на основе нечеткого вывода и индикаторных показателей процессов позволяет учитывать не только числовые значения параметров, но и степень их отклонения от целевых значений, а также динамику изменения показателей во времени.

Вопрос о границах применения искусственного интеллекта в управлении качеством требует отдельного рассмотрения. Искусственный интеллект может и должен применяться в следующих областях: замена или, что более предпочтительно, дополнение эксперта-человека для сбора и первичной обработки информации; поиск дефектов с помощью распознавания образов (например, при визуальном контроле); первичная обработка и распределение заявок в пределах, допустимых для источника заявок; формирование рекомендаций на основе анализа совокупности параметров.

Однако следует отдавать себе отчет в особенностях природы искусственного интеллекта, в частности в вероятностном характере получаемых результатов. Это накладывает ограничения на его применение в областях, где недопустима передача юридической ответственности. Невозможно в судебном порядке сослаться на то, что «система выдала такой результат, следовательно, организация не несет ответственности». В этой связи полная цифровизация с использованием искусственного интеллекта недопустима там, где речь идет о решениях, влекущих юридические или финансовые последствия для организации или третьих лиц.

Конкретные границы применения искусственного интеллекта зависят от ряда факторов: уровня доверия к системе со стороны руководства и персонала, оценки возможных последствий ошибочных решений и готовности организации принимать риски, связанные с автоматизацией. В процессах управления качеством такая «красная линия» проходит в первую очередь через этапы принятия окончательных решений о соответствии продукции, об изменении технологических режимов с критическими последствиями и о распределении ресурсов.

Цифровая трансформация процессов управления качеством приносит пользу с различных сторон, и эти эффекты могут быть как количественно измеримыми, так и качественными. К измеримым эффектам относятся:

- ускорение процессов сбора, обработки и анализа данных, что сокращает время реакции на отклонения и предотвращает развитие дефектов;
- снижение доли ручного труда при расчетах статистических показателей, что минимизирует риск ошибок, связанных с человеческим фактором;
- системное хранение знаний организации и данных о процессах и продукции, обеспечивающее возможность поиска, сортировки и ранжирования информации, в том числе в реальном времени;
- исключение ряда процессов, прежде всего связанных с передачей информации и ее формализацией в виде отчетов, что сокращает непроизводительные затраты времени.

Все перечисленные эффекты вполне измеримы во временных показателях, что позволяет оценивать экономический эффект через человеко-часы и соответствующие ставки оплаты труда.

К качественным эффектам, которые сложнее измерить, но они не менее важны, относятся:

- повышение прослеживаемости изменений и решений, что способствует формированию культуры качества, основанной на фактах, а не на интуиции;
- снижение зависимости от субъективных экспертных оценок и опыта отдельных сотрудников, что делает систему управления качеством более устойчивой к кадровым изменениям;
- формирование единой информационной среды, способствующей более эффективному взаимодействию между подразделениями.

При этом важно подчеркнуть, что ускорение неправильных процессов приведет к быстрым неправильным результатам. В связи с этим цифровизация должна предваряться анализом и корректировкой существующих процессов, а не просто переносом их в цифровую среду.

Результаты исследований и рекомендации

На основе проведенного анализа могут быть сформулированы следующие практические рекомендации для организаций, приступающих к цифровой трансформации управления качеством:

- перед внедрением цифровых инструментов необходимо провести анализ существующих процессов на предмет их корректности и эффективности. Цифровизация не должна закреплять неоптимальные практики;
- провести работу с сотрудниками организации, обеспечив их подготовку к предстоящим изменениям. Сопротивление персонала и недостаток компетенций могут свести на нет преимущества даже самых совершенных систем;
- подготовиться к возможному увеличению оборачиваемости активов организации и, как следствие, росту объемов производства за счет оптимизации управленческих процессов. Цифровизация должна рассматриваться не как самоцель, а как инструмент повышения конкурентоспособности;
- сделать акцент в первую очередь на управленческие процессы, поскольку в них сосредоточено большее число информационных интерфейсов, что делает их более простыми для цифровизации по сравнению с физическими технологическими процессами;
- в ходе внедрения систематически отслеживать потоки информации, выявлять случаи дублирования и пересечения, минимизировать необоснованное накопление данных, не используемых для принятия решений.

Перечисленные рекомендации носят универсальный характер и могут быть адаптированы под специфику любой организации, независимо от отрасли и масштаба деятельности. Выбор конкретных инструментов и последовательности внедрения должен определяться на основе детального анализа текущего состояния системы менеджмента качества и стратегических целей организации. Так, для организаций по производству изделий микроэлектроники, характеризующемуся многостадийностью технологических маршрутов и критической зависимостью выхода годных изделий от стабильности параметров на каждом этапе, положения сформулированных выше рекомендаций приобретают следующее конкретное наполнение:

- провести углубленную статистическую оценку воспроизводимости каждого технологического этапа микронизации производства на основе индексов воспроизводимости процессов за ретроспективный период не менее шести месяцев, что позволит выявить скрытые систематические смещения параметров (например, неравномерность толщины фоторезиста или дрейф температуры в диффузионных печах);
- организовать для инженеров-технологов и операторов контрольно-измерительных станций специализированные семинары и практические занятия по интерпретации выходных сигналов экспертной системы, включая освоение методик определения степени отнесения значений критических параметров (критической дозы экспозиции, неравномерности плазмохимического травления, профилей легирования после ионной имплантации) к соответствующим термам функций принадлежности;
- заблаговременно провести модернизацию вычислительной инфраструктуры предприятия с целью обеспечения возможности обработки экспоненциально возрастающих массивов данных по мере увеличения количества контролируемых пластин в партии, включая оптимизацию алгоритмов нечеткого вывода для сохранения приемлемого времени формирования итоговой оценки

вероятности отказа без снижения точности расчетов при переходе от опытного к серийному производству;

– внедрить автоматизированную систему сбора и первичной верификации данных непосредственно с измерительного оборудования, что позволит без вмешательства в физическую суть технологических операций обеспечить наиболее быстрый и ощутимый эффект от апробации разработанной математической модели на управленческом уровне, а также сократить влияние человеческого фактора на этапе ввода исходных параметров, являющегося одной из основных причин искажения входных данных экспертной системы;

– создать единое централизованное хранилище данных с модулем предварительной нормализации входных параметров, обеспечив унификацию форматов, дискретности измерений и временных меток для всех контрольно-измерительных операций, что позволит избежать ситуаций, когда данные о параметрах одного и того же слоя (например, толщины оксидного слоя) или этапа, зафиксированные на различных станциях с разной периодичностью и в различных форматах, приводят к противоречивым значениям индексов воспроизводимости процессов, неоднозначности активации нечетких правил и, как следствие, к формированию недостоверной итоговой оценки вероятности отказа, сводящей на нет все преимущества интеллектуального подхода к прогнозированию предвестников отказов.

Заключение

1. Рассмотрены проблематика современных систем управления качеством, потенциал цифровой трансформации основных процессов и возможные эффекты от внедрения интеллектуальных инструментов в контур управления. Анализ показал, что ключевыми барьерами на пути цифровизации управления качеством являются человеческий фактор, ограниченная формализуемость аналитических процессов, сложность интеграции разнородных информационных систем и недостаточная развитость методов прогнозирования скрытых дефектов. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, совмещающего формализацию процессов, развитие компетенций персонала и продуманную архитектуру цифровых инструментов.

2. Определено, что процессы управления качеством обладают различным потенциалом для цифровой трансформации. Наиболее благоприятной областью является операционный контроль, где автоматизация сбора и обработки данных позволяет перейти от периодического выборочного контроля к непрерывному мониторингу. На стратегическом и тактическом уровнях цифровые инструменты должны выполнять вспомогательную функцию, формируя обоснованные рекомендации, но не подменяя экспертизу и ответственность человека. Особое внимание уделено границам применения искусственного интеллекта: системы могут эффективно использоваться для сбора и первичной обработки информации, поиска дефектов и формирования рекомендаций, однако недопустима передача юридической ответственности алгоритмам в областях, где решения влекут существенные последствия для организации или третьих лиц.

3. Установлено, что эффекты от цифровой трансформации могут быть как измеримыми (сокращение времени обработки данных, снижение доли ручного труда, уменьшение ошибок расчетов), так и качественными (повышение прослеживаемости, снижение зависимости от субъективных оценок, формирование единой информационной среды). При этом цифровизация должна предваряться анализом и корректировкой существующих процессов, чтобы избежать автоматизации неэффективных практик.

4. Практическая значимость исследования заключается в формировании структурированного подхода к выбору процессов для цифровой трансформации, определении факторов, влияющих на глубину автоматизации, и в разработке рекомендаций по внедрению. Предложенные положения могут быть использованы руководителями и специалистами по качеству при планировании и реализации проектов цифровизации на промышленных предприятиях. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка методик оценки эффективности цифровых решений в управлении качеством, изучение подходов к интеграции интеллектуальных систем с существующими QMS-решениями, а также адаптация предлагаемых подходов к специфике различных отраслей промышленности.

Список литературы

1. Мугутдинов, Р. М. Системный анализ взаимосоответствия свойств цифрового предприятия и предприятий-комплементоров в рамках информационной среды / Р. М. Мугутдинов // Экономические науки. 2021. № 200. С. 82–92. DOI: 10.14451/1.200.82.
2. Никитина, Н. В. Трансформация проектно-процессного управления промышленными предприятиями в условиях цифровой среды / Н. В. Никитина, Д. Ю. Скачков, А. С. Колупаев // Креативная экономика. 2023. Т. 17, № 11. С. 4101–4112. DOI: 10.18334/ce.17.11.119506.
3. Бобровский, С. М. Разработка структуры процессов системы управления качеством предприятия совместно с системой информационной поддержки процессов управления качеством / С. М. Бобровский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2025. Т. 27, № 4. С. 13–19. DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-13-19.
4. Родионов, А. В. Применение информационных систем в процессах обеспечения качества управления организациями / А. В. Родионов // Новое в экономической кибернетике. 2022. № 2. С. 42–49.
5. Суслов, Е. П. Гибридная модель прогнозирования отказов видеоплатформ на основе статистических методов и нейросетевых моделей: обзор подходов / Е. П. Суслов // Индустриальная экономика. 2026. № 3. С. 171–175. DOI: 10.47576/2949-1886.2026.3.3.022.
6. Сигитов, А. А. Современное состояние и перспективы развития систем предиктивной аналитики в области строительства / А. А. Сигитов // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11, № 4. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-30-30.
7. Подвербных, О. Е. Реализация проектов цифровизации управления человеческими ресурсами промышленных предприятий: факторы кадровых рисков / О. Е. Подвербных, Е. Л. Соколова, С. М. Самохвалова // Креативная экономика. 2024. Т. 18, № 12. С. 3613–3632. DOI: 10.18334/ce.18.12.122363.
8. Захаров, А. Ю. Человеческий фактор в цифровизации: как вовлечь сотрудников / А. Ю. Захаров, Д. Г. Мюллер // Научный Лидер. 2025. № 7. С. 166–168.
9. Метревели, И. С. Обзор современного уровня применения российских цифровых систем управления качеством с использованием возможностей искусственного интеллекта / И. С. Метревели // Петербургский экономический журнал. 2025. № 2. С. 18–31. DOI: 10.32603/2307-5368-2025-2-18-31.
10. Юсупова, Д. М. Аспекты внедрения искусственного интеллекта в цифровую трансформацию экономики и в системы электронного правительства / Д. М. Юсупова // Экономика и социум. 2023. № 4–2. С. 801–815.
11. Верецагин, И. А. Применение искусственного интеллекта в системах SCADA, MES и ERP / И. А. Верецагин // Современные достижения научно-технического прогресса. 2026. № 2. С. 51–53.
12. Кужанбаев, Р. Т. Современные и перспективные методы диспетчеризации на производстве. Опыт и проблемы внедрения и применения ERP, MES, SCADA и CSRP систем на российских предприятиях / Р. Т. Кужанбаев // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 47. С. 1979–1988.

Поступила 23.06.2026

Принята в печать 28.07.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. Mugutdinov R. M. (2021) System Analysis of Mutual Compliance of the Properties of a Digital Enterprise and Complementary Enterprises Within the Information Environment. *Economic Sciences*. (200), 82–92. DOI: 10.14451/1.200.82 (in Russian).
2. Nikitina N. V., Skachkov D. Yu., Kolupaev A. S. (2023) Transformation of Project-Process Management of Industrial Enterprises in the Digital Environment. *Creative Economy*. 17 (11), 4101–4112. DOI: 10.18334/ce.17.11.119506 (in Russian).
3. Bobrovskiy S. M. (2025) Development of the Structure of the Enterprise Quality Management System Processes Together with the Quality Management Processes Information Support System. *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 27 (4), 13–19. DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-13-19 (in Russian).
4. Rodionov A. V. (2022) Application of Information Systems in the Processes of Quality Assurance of Organization Management. *New in Economic Cybernetics*. (2), 42–49 (in Russian).
5. Suslov E. P. (2026) Hybrid Model for Predicting Failures of Video Platforms Based on Statistical Methods and Neural Network Models: A Review of Approaches. *Industrial Economics*. (3), 171–175. DOI: 10.47576/2949-1886.2026.3.3.022 (in Russian).
6. Sigitov A. A. (2023) Current State and Prospects for the Development of Predictive Analytics Systems in the Field of Construction. *Construction and Architecture*. 11 (4). DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-30-30 (in Russian).

7. Podverbnykh O. E., Sokolova E. L., Samokhvalova S. M. (2024) Implementation of Projects for Digitalization of Human Resource Management of Industrial Enterprises: Factors of Personnel Risks. *Creative Economy*. 18 (12), 3613–3632. DOI: 10.18334/ce.18.12.122363 (in Russian).
8. Zakharov A. Yu., Myuller D. G. (2025) Human Factor in Digitalization: How to Engage Employees. *Scientific Leader*. (7), 166–168 (in Russian).
9. Metreveli I. S. (2025) Review of the Current Level of Application of Russian Digital Quality Management Systems Using Artificial Intelligence Capabilities. *St. Petersburg Economic Journal*. (2), 18–31. DOI: 10.32603/2307-5368-2025-2-18-31 (in Russian).
10. Yusupova D. M. (2023) Aspects of the Introduction of Artificial Intelligence into the Digital Transformation of the Economy and into E-Government Systems. *Economy and Society*. (4–2), 801–815 (in Russian).
11. Vereshchagin I. A. (2026) Application of Artificial Intelligence in SCADA, MES and ERP Systems. *Modern Achievements of Scientific and Technological Progress*. (2), 51–53 (in Russian).
12. Kuzhanbaev R. T. (2021) Modern and Promising Methods of Dispatching in Production. Experience and Problems of Implementation and Application of ERP, MES, SCADA and CSRP Systems at Russian Enterprises. *Innovation. Science. Education*. (47), 1979–1988 (in Russian).

Received: 23 June 2026

Accepted: 28 July 2026

Available on the website: 12 October 2026

Сведения об авторе

Тихонов М. Р., канд. техн. наук, доц., доц. Института системной и программной инженерии и информационных технологий, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Адрес для корреспонденции

124498, Российская Федерация,
Москва, Зеленоград, площ. Шокина, 1
Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»
Тел.: +7 903 733-79-34
E-mail: kurotenshi91@yandex.ru
Тихонов Мартин Робертович

Information about the author

Tikhonov M., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Institute of Systems and Software Engineering and Information Technology, National Research University of Electronic Technology

Address for correspondence

124498, Russian Federation,
Moscow, Zelenograd, Shokina Sq., 1
National Research University
of Electronic Technology
Tel.: +7 903 733-79-34
E-mail: kurotenshi91@yandex.ru
Tikhonov Martin