

УДК 658.562

Цифровизация как фактор развития систем управления качеством и организации производства в машиностроении

Борисов Илья Станиславович¹

ilya.skiya@yandex.ru

Васильев Виктор Андреевич²

vasiliev1952va@yandex.ru

SPIN-код: 5907-3828

¹ Московский политехнический университет, Москва, Россия² Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены современные организационно-экономические подходы к управлению качеством и жизненным циклом продукции в машиностроении в условиях цифровой трансформации. Представлены результаты анализа отечественных и зарубежных исследований 2020–2025 гг., посвященных внедрению PLM-систем, цифровых двойников, облачных технологий и искусственного интеллекта в производственные процессы. Показано, что цифровизация способствует снижению уровня брака, согласованности действий подразделений и повышению эффективности систем менеджмента качества. Установлено, что организационные эффекты внедрения цифровых решений заключаются в сокращении издержек, повышении надежности продукции и создании адаптивных моделей организации производства. Сделаны выводы, что полученные результаты могут применяться при модернизации систем управления качеством машиностроительных предприятий, разработке стратегий цифровой трансформации и совершенствовании организационных механизмов в рамках стандартов ISO и IATF.

Ключевые слова: машиностроение, управление качеством, организация производства, жизненный цикл продукции, цифровая трансформация

Digitalization as a factor in the development of quality management systems and production organization in mechanical engineering

Borisov Ilya Stanislavovich¹

ilya.skiya@yandex.ru

Vasiliev Victor Andreevich²

vasiliev1952va@yandex.ru

SPIN-code: 5907-3828

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. The article considers modern organizational and economic approaches to quality management and product life cycle management in mechanical engineering in the context of digital transformation. The article presents the results of the analysis of domestic and foreign studies for 2020–2025 devoted to the implementation of PLM systems, digital twins, cloud technologies, and artificial intelligence in production processes. It is shown that digitalization helps to reduce the level of defects, improve the coordination of departments, and increase the efficiency of quality management systems. It is established that the organizational effects of the implementation of digital solutions include cost reduction, increased product reliability,

and the creation of adaptive models for organizing production. It is concluded that the results obtained can be used in the modernization of quality management systems at mechanical engineering enterprises and the development of digital transformation strategies and improving organizational mechanisms within the framework of ISO and IATF standards.

Keywords: *mechanical engineering, quality management, production organization, product life cycle, digital transformation*

Введение. Современное машиностроение развивается в условиях масштабной цифровой трансформации, затрагивающей не только технологический, но и организационный уровень производственных систем. Одним из ключевых направлений становится совершенствование управления жизненным циклом продукции (ЖЦП), включающим стадии проектирования, подготовки производства, изготовления, эксплуатации и утилизации. Традиционные подходы к управлению этими процессами уже не обеспечивают должной гибкости, согласованности и качества продукции в условиях высокой конкуренции и сокращения сроков вывода новых изделий на рынок.

В связи с этим особую актуальность приобретает переосмысление управления ЖЦП через призму организации производства и управления качеством. Цифровые технологии — такие как PLM-системы, цифровые двойники, облачные сервисы и средства искусственного интеллекта — становятся инструментами поддержки организационных решений, обеспечивая согласованность действий подразделений, снижение брака, повышение точности планирования и контроль качества на всех стадиях жизненного цикла.

Цель статьи заключается в анализе современных организационно-экономических подходов к управлению качеством и жизненным циклом продукции в машиностроении в условиях цифровой трансформации.

Для ее достижения решаются следующие задачи:

- исследование методов организации управления ЖЦП на машиностроительных предприятиях;
- определение роли цифровых технологий как инструментов повышения качества и эффективности производства;
- выявление ключевых вызовов, связанных с цифровой трансформацией организационных процессов;
- рассмотрение практических примеров, демонстрирующих организационные эффекты цифровизации в машиностроении.

Новизна работы состоит в акценте на том, что цифровизация рассматривается не только как технологический процесс, но и как фактор трансформации систем управления качеством и организации производства.

Научная значимость заключается в том, что полученные результаты уточняют роль организационно-экономических механизмов в развитии машиностроительных предприятий и позволяют сформулировать рекомендации по их совершенствованию с учетом требований цифровой экономики.

Материалы и методы. Исследование основано на применении комплекса методов, включающих сравнительный анализ, систематизацию научных

публикаций и обобщение практического опыта внедрения цифровых технологий в машиностроении. Основным подходом являлся аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы, опубликованной в период 2020–2025 гг., посвященной управлению жизненным циклом продукции, цифровой трансформации промышленных предприятий, внедрению PLM-систем, цифровых двойников и технологий Индустрии 4.0.

В качестве материалов использовались научные статьи ведущих российских и зарубежных исследователей, монографии и результаты прикладных исследований. Особое внимание уделялось работам, содержащим эмпирические данные о влиянии цифровой трансформации на производственную эффективность (Wang D., Shao X. [0]), экологическую устойчивость (Lin M., Zhonghe Z., Arif M. [0]), а также внедрению интегрированных PLM-систем и цифровых двойников (Duda J., Oleszek S., Santarek K. [0]; Lehner C. и др. [0]). Дополнительно рассматривались отечественные исследования (Амелин С. В. [0]; Измайлова М.А. [0]), отражающие специфику цифровизации машиностроительных предприятий в условиях российской экономики.

Для обработки полученной информации использовался метод контент-анализа, позволивший выявить ключевые направления применения цифровых технологий в управлении жизненным циклом продукции, а также системные проблемы и ограничения внедрения этих решений на практике. Сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта позволил оценить степень универсальности выявленных тенденций и определить возможные направления адаптации лучших практик к условиям российских машиностроительных предприятий.

Анализ научных источников позволяет выделить несколько ключевых направлений развития современных подходов к управлению ЖЦП:

- эволюция PLM-систем к многофункциональным цифровым платформам;
- интеграция цифровых двойников и цифровых нитей в процессы машиностроения;
- акцент на устойчивость и корпоративную ответственность в управлении ЖЦ;
- применение дискретного моделирования, больших данных и искусственного интеллекта для оптимизации процессов;
- организационные изменения и новые модели управления в условиях цифровой экономики.

Результаты. Несмотря на очевидные преимущества цифровой трансформации, практика внедрения современных подходов к управлению жизненным циклом продукции в машиностроении сопряжена с целым рядом проблем организационного, экономического и управленческого характера.

Во-первых, ключевым вызовом остается фрагментированность информационных систем управления производством и качеством. Как показывают исследования Ji X., Abdoli S. [7], значительная часть предприятий использует разнотипные решения для проектирования, управления технологическими

процессами и сервисного обслуживания, что приводит к дублированию данных, росту ошибок и затрудняет сквозной контроль качества. Отсутствие единой цифровой платформы снижает возможности для реализации интегрированных систем управления производством.

Во-вторых, существует проблема высокой стоимости и сложности внедрения PLM и цифровых двойников как организационных инструментов управления качеством. По данным Lehner C. и соавт. [4], внедрение цифровой нити требует значительных инвестиций в программное обеспечение, вычислительную инфраструктуру и подготовку персонала. Для многих предприятий, особенно среднего уровня, это становится сдерживающим фактором перехода к полноценной модели управления ЖЦП и качеством продукции.

Третьим вызовом является недостаточная зрелость методик организационного применения цифровых технологий. Как отмечает De Felice F. [8], дискретно-событийное моделирование и цифровые двойники пока часто остаются на уровне пилотных проектов, а их интеграция в системы управления качеством затруднена отсутствием унифицированных стандартов и регламентов.

Существенным ограничением выступают и организационные барьеры. Амелин С. В. [5] и Измайлова М.А. [6] подчеркивают, что цифровая трансформация требует перестройки бизнес-процессов, внедрения процессного управления качеством и новых компетенций персонала. Однако консерватизм управленческих структур и дефицит специалистов с цифровыми навыками нередко замедляют внедрение инноваций в области организации производства.

Отдельным направлением проблем становится обеспечение кибербезопасности производственных данных. При использовании цифровых нитей и IoT-устройств возрастают риски несанкционированного доступа и нарушения целостности моделей изделий, что напрямую отражается на системе управления качеством и безопасности продукции.

При этом развитие концепции Индустрии 4.0 обусловило появление новых инструментов организации управления производством. PLM-системы нового поколения выполняют роль интеграционного ядра, объединяющего инженерные, производственные и управленческие данные. Duda J., Oleszek S., Santarek K. [3] показывают, что такие системы способствуют формированию единого контекста изделия и обеспечивают согласованность действий подразделений, снижая количество брака и ускоряя выпуск продукции.

Цифровые двойники и цифровая нить становятся средствами обеспечения непрерывного мониторинга качества изделий в эксплуатации. Lehner C. и др. [4] отмечают, что они позволяют прогнозировать отказы, повышать надежность и оптимизировать сервисное обслуживание.

Искусственный интеллект и машинное обучение внедряются в практику как инструменты поддержки управления качеством. Грачева И.В. [9] и Wang D., Shao X. [1] указывают, что алгоритмы позволяют выявлять скрытые закономерности в дефектах и прогнозировать их возникновение, что повышает точность планирования и предупреждения брака.

Облачные технологии и распределенные вычисления обеспечивают гибкость в организации производственных процессов. De Felice F. [8] подчеркивает, что их использование позволяет адаптивно перестраивать производственные планы, снижать издержки и повышать прозрачность процессов контроля качества.

Особое внимание уделяется вопросам устойчивого управления качеством. Jasiulewicz-Kaczmarek M. [10] показывает, что технологии Industry 4.0 позволяют интегрировать принципы устойчивого развития в систему управления активами, а Lin M., Zhonghe Z., Arif M. [2] отмечает, что цифровизация создает условия для формирования механизмов экологической ответственности в машиностроении.

Обсуждение полученных результатов. Опыт внедрения цифровых технологий в управление ЖЦП в машиностроении свидетельствует о том, что их ключевая роль заключается в обеспечении сквозной организации производственных процессов и повышении результативности систем управления качеством. Исследования показывают, что такие инструменты, как PLM-системы, цифровые двойники, облачные решения и искусственный интеллект, позволяют повысить прозрачность процессов, снизить издержки на исправление дефектов и укрепить устойчивость производственных систем.

Повышение производственной эффективности. Wang D., Shao X. [0] на основе анализа деятельности машиностроительных предприятий Китая показали, что цифровая трансформация оказывает прямое влияние на производительность. Использование интегрированных цифровых платформ позволило сократить время производственного цикла, снизить количество ошибок в проектной документации и улучшить взаимодействие между подразделениями. Внедрение PLM и MES-систем обеспечило рост общей эффективности производства за счет синхронизации проектных и производственных данных.

Оптимизация процессов проектирования и производства. Duda J., Oleszek S., Santarek K. [0] приводят данные о внедрении PLM-систем на предприятиях Европы, где цифровизация процессов проектирования позволила значительно сократить сроки подготовки производства. Благодаря интеграции CAD/CAM/CAE-систем в единое информационное пространство удалось повысить точность планирования, минимизировать дублирование информации и ускорить процесс вывода новых изделий на рынок.

Цифровые двойники и цифровая нить. Lehner C. и др. [0] отмечают успешные примеры внедрения цифровых двойников в машиностроительных компаниях Германии и Австрии. Создание виртуальных моделей изделий позволило проводить имитационное моделирование эксплуатационных условий и прогнозировать поведение продукции при различных нагрузках. Использование цифровой нити обеспечило полную прослеживаемость изменений и улучшило управление качеством.

Устойчивое управление активами. Jasiulewicz-Kaczmarek M. [0] исследовали внедрение технологий Industry 4.0 для устойчивого управления жизненным циклом активов. Авторы показали, что применение IoT и кибер-

физических систем позволяет интегрировать задачи энергосбережения и минимизации отходов в процессы производства. Это не только снижает экологические риски, но и повышает экономическую эффективность за счет оптимизации использования ресурсов.

Экологическая ответственность предприятий. Lin M., Zhonghe Z., Arif M. [0] демонстрирует, что цифровая трансформация усиливает корпоративную экологическую ответственность (CER) в машиностроении. Применение цифровых систем мониторинга позволило внедрить новые формы отчетности, повысить прозрачность процессов и обеспечить соответствие экологическим стандартам. Это стало важным фактором конкурентоспособности компаний на международном рынке.

Организационные изменения и цифровые компетенции. В отечественных исследованиях (Амелин С.В. [0]; Измайлова М.А. [0]) подчеркивается, что цифровая трансформация требует не только внедрения технологий, но и адаптации организационных структур. Практика показала, что успешное применение PLM и цифровых платформ возможно только при наличии у персонала соответствующих компетенций и готовности к инновациям. Компании, которые внедряют программы обучения и развития цифровых навыков, достигают более высоких показателей производительности и инновационной активности.

Заключение. Проведенное исследование позволило показать, что современные подходы к управлению жизненным циклом продукции в машиностроении неразрывно связаны с вопросами организации производства и управления качеством. Постановленная цель — проанализировать организационно-экономические механизмы в условиях цифровой трансформации — достигнута.

Анализ научных источников и практических кейсов подтвердил, что цифровые технологии становятся важным инструментом совершенствования организационных процессов. PLM-системы позволяют синхронизировать деятельность подразделений и уменьшать количество ошибок в проектной документации, цифровые двойники и цифровая нить обеспечивают сквозной контроль качества и сокращают затраты на эксплуатацию, а облачные сервисы и искусственный интеллект создают условия для прогнозного управления качеством и адаптивного планирования.

Полученные результаты оказались даже шире ожидаемых: цифровизация оказывает влияние не только на эффективность и производительность, но и на устойчивость бизнеса, его способность соответствовать требованиям стандартов качества (ISO, IATF), а также на корпоративную экологическую ответственность. Это подчеркивает значимость цифровых инструментов как основы формирования новых моделей организации производства.

Практическая ценность исследования заключается в том, что выявленные подходы могут быть использованы при разработке программ модернизации машиностроительных предприятий, совершенствовании систем управления качеством и внедрении стандартов нового поколения. Для науки результаты

открывают перспективы дальнейшего изучения роли организационно-экономических механизмов в переходе от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, где ключевым становится баланс между технологиями, качеством и эффективностью организации производства.

Список источников

- [1] Wang D., Shao X. Research on the impact of digital transformation on the production efficiency of manufacturing enterprises: Institution-based analysis of the threshold effect. *International Review of Economics & Finance*, 2024, vol. 91, pp. 883–897. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056024000467> (accessed 14.11.2025).
- [2] Lin M., Zhonghe Z., Arif M. The intersection of digital transformation and environmental responsibility in traditional manufacturing enterprises amid new productive forces. *Journal of Cleaner Production*, 2025, vol. 503, art. no. 145426. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652625007760> (accessed 14.11.2025).
- [3] Duda J., Oleszek S., Santarek K. The Impact of PLM Systems on the Digital Transformation of Manufacturing Companies. *International Scientific-Technical Conference MANUFACTURING*, Cham, Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 151–164. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-56444-4_12 (accessed 14.11.2025).
- [4] Lehner C. et al. Digital twin and digital thread within the product lifecycle management. *Procedia Computer Science*, 2024, vol. 232, pp. 2875–2886. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924002825> (accessed 14.11.2025).
- [5] Амелин С.В. Организация производства в машиностроении в условиях цифровой трансформации. *Организатор производства*, 2020, № 1. <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.37.63.002>
- [6] Измайлова М.А. и др. *Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики*. Москва, Мир науки, 2021, 296 с.
- [7] Ji X., Abdoli S. Challenges and opportunities in product life cycle management in the context of industry 4.0. *Procedia CIRP*, 2023, vol. 119, pp. 29–34. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123004225> (accessed 14.11.2025).
- [8] De Felice F. et al. The Role of Digital Transformation in Manufacturing: Discrete Event Simulation to Reshape Industrial Landscapes. *Applied Sciences*, 2025, vol. 15, № 11, art. no. 6140. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6140> (accessed 14.11.2025).
- [9] Грачева И.В. Управление жизненным циклом продукта в области информационных технологий: методы и инструменты для оптимизации процессов и повышения эффективности. *Вестник науки*, 2023, № 12 (69), с. 53–66.
- [10] Jasiulewicz-Kaczmarek M. et al. Industry 4.0 technologies for sustainable asset life cycle management. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 7. <https://doi.org/10.3390/su15075833>