

УДК 65.011.56

Оценка экономической эффективности внедрения цифрового двойника в систему управления качеством изделий машиностроения

Затонский Игорь Владимирович^(*)

igorzatonskiy00@mail.ru

Ванчурин Михаил Дмитриевич

mikhail.vanchurin@gmail.com

Васильев Виктор Андреевич

vasiliev1952va@yandex.com

Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема повышения эффективности управления качеством изделий в машиностроении через внедрение цифровых двойников. Научная проблема заключается в отсутствии унифицированного методического подхода, позволяющего количественно оценить экономический эффект от внедрения цифрового двойника для обоснования инвестиционных решений. Представлена методика оценки экономической эффективности внедрения цифрового двойника на основе анализа ключевых показателей, таких как снижение брака, сокращение затрат на ремонты и уменьшение времени простоя оборудования. Показано, что использование цифрового двойника позволяет снизить себестоимость продукции, повысить точность планирования и прогнозировать отказы оборудования. Сделаны выводы, что разработанный инструментарий может быть применен для обоснования инвестиционных решений и оптимизации бизнес-процессов на машиностроительных предприятиях.

Ключевые слова: цифровой двойник, экономическая эффективность, управление качеством, оптимизация процессов, машиностроение

Assessing the economic efficiency of implementing a digital twin in the product quality management system of mechanical engineering

Zatonskiy Igor Vladimirovich^(*)

igorzatonskiy@mail.ru

Vanchurin Mikhail Dmitrievich

mikhail.vanchurin@gmail.com

Vasiliev Victor Andreevich

vasiliev1952va@yandex.com

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the problem of improving the efficiency of product quality management in mechanical engineering through the implementation of digital twins. The scientific problem is the lack of a unified methodological approach for quantifying the economic effect of implementing a digital twin to justify investment decisions. It presents a methodology for assessing the economic efficiency of implementing a digital twin based on the analysis of key indicators, such as reducing defects, reducing repair costs, and reducing equipment downtime. The article shows that the use of a digital twin can reduce production costs, improve planning accuracy, and predict equipment failures. The article concludes

that the developed toolkit can be used to justify investment decisions and optimize business processes in mechanical engineering enterprises.

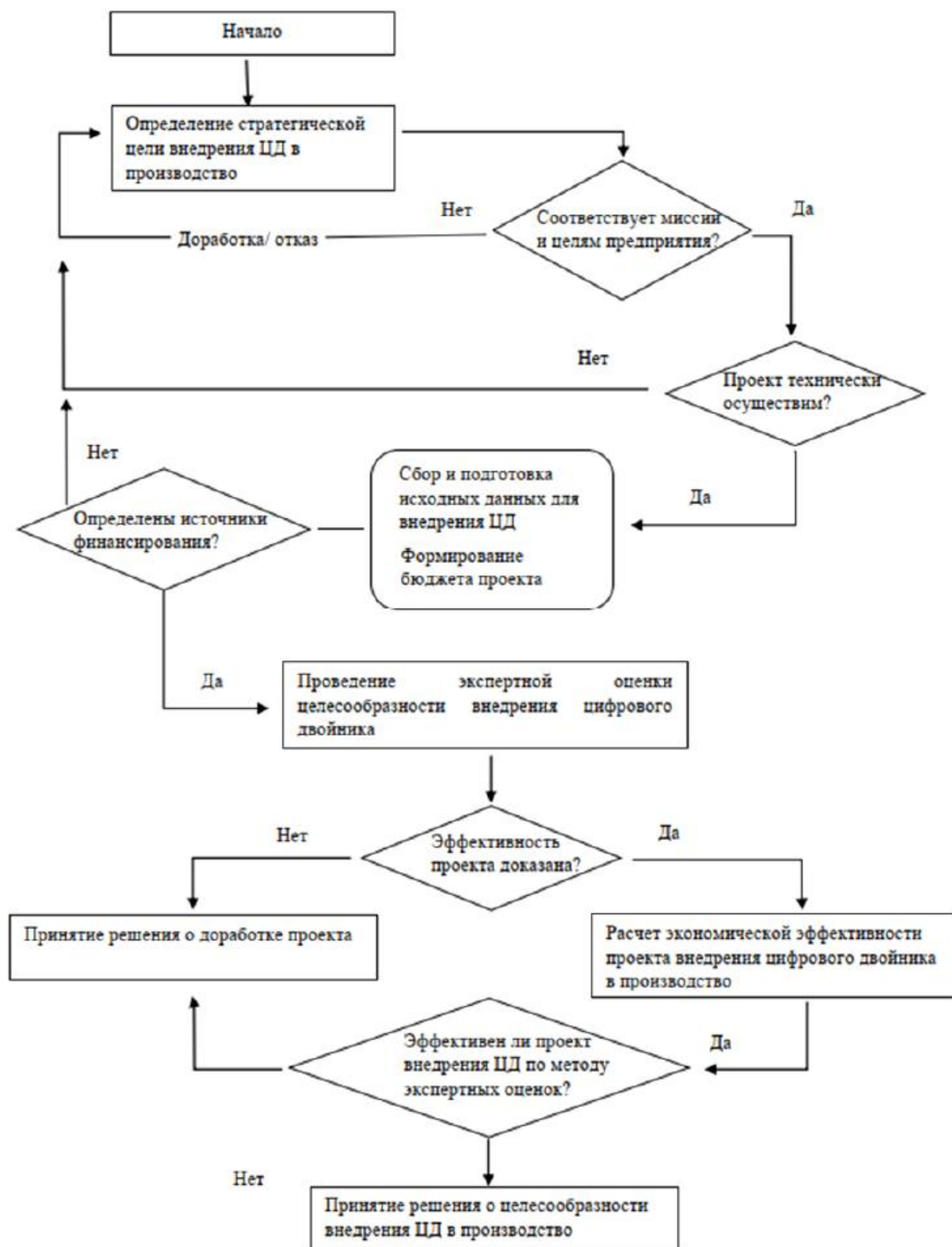
Keywords: *digital twin, economic efficiency, quality management, process optimization, mechanical engineering*

Введение. Оценка экономической эффективности внедрения цифрового двойника в систему управления качеством изделий машиностроения демонстрирует значительный потенциал данной технологии для снижения операционных затрат и повышения производительности. Целью данного исследования является разработка комплексного методического подхода к оценке экономической эффективности внедрения цифрового двойника для обоснования инвестиционных решений на машиностроительных предприятиях. Цифровые двойники, представляющие собой виртуальные копии физических объектов или процессов, позволяют оптимизировать бизнес-процессы за счет предиктивного обслуживания, сокращения брака и минимизации простоев оборудования, что подтверждается кейсами компаний Siemens, Schneider Electric и российских предприятий, таких как ПАО «ТМК» [1], где внедрение технологии привело к экономии миллионов рублей. Ключевыми факторами успеха являются интеграция с промышленным интернетом вещей (IoT) для сбора данных в реальном времени, использование искусственного интеллекта для аналитики и моделирования, а также разработка стратегических карт внедрения, учитывающих отраслевую специфику. Однако проекты требуют значительных инвестиций и экспертной оценки для определения целесообразности, а также решения проблем, связанных с защитой данных и адаптацией персонала. В целом, цифровые двойники становятся критически важным инструментом для повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий в условиях цифровой трансформации промышленности.

Материалы и методы. В основу исследования положены материалы публичных отчетов промышленных предприятий (ПАО «ТМК» [1], ПАО «КАМАЗ», ПАО «Северсталь»), а также нормативная [2] и научная литература по проблематике цифровых двойников [3–11]. Выбор комплекса методов исследования обусловлен необходимостью всестороннего анализа проблемы: стратегический анализ (SWOT-анализ) применялся для оценки контекста внедрения, метод экспертных оценок [12] — для качественного анализа целесообразности проекта, а методология сбалансированной системы показателей (BSC) [13] — для перевода стратегических целей в систему измеримых ключевых показателей эффективности (KPI). В качестве иллюстративных материалов использована стратегическая карта внедрения цифрового двойника (рисунок), графики динамики показателей и таблицы с расчетами ключевых показателей эффективности (KPI).

Результаты. В результате проведенного исследования разработан комплексный методический подход к оценке экономической эффективности внедрения цифрового двойника (ЦД) в систему управления качеством. Основным результатом является алгоритм принятия решения о внедрении ЦД

(рисунок), интегрирующий метод экспертных оценок и инвестиционного анализа [14].



Алгоритм принятия решения о целесообразности внедрения цифрового двойника в бизнес-процесс производства

Обсуждение. Проведенное исследование подтвердило выдвинутую гипотезу о том, что внедрение цифрового двойника в систему управления качеством изделий машиностроительного предприятия обеспечивает значительный экономический эффект за счет снижения операционных затрат и повышения производительности. Полученные результаты демонстрируют высокую согласованность с данными других исследований в области цифровых двойников. Так, прогнозируемое нами снижение затрат на ремонты (10–20 %) коррелирует с данными компании Siemens из исследования Lee J. et al. [4], а показатель сокращения простоя (20–30 %) согласуется с кейсом ПАО «ТМК» [1]. Однако наш подход отличается комплексностью, интегрируя качественные экспертные оценки и количественные финансовые модели в единый алгоритм, что позволяет нивелировать субъективность отдельных методов.

Заключение. Проведенное исследование успешно достигло своей основной цели — разработан комплексный методический инструментарий для оценки экономической эффективности внедрения цифровых двойников в систему управления качеством изделий машиностроения. Полученные результаты не только подтвердили первоначальные предположения о значительном потенциале данной технологии, но и выявили дополнительные возможности для оптимизации производственных процессов.

Особую ценность представленные результаты представляют для предприятий, осуществляющих цифровую трансформацию производственных процессов, поскольку позволяют количественно обосновать инвестиции в технологии Industry 4.0. Дальнейшее развитие исследования видится в адаптации методики для различных отраслей промышленности и разработке отраслевых нормативов экономической эффективности цифровых двойников.

Список источников

- [1] Официальный сайт Трубной металлургической компании. URL: <https://vtz.tmk-group.ru> (дата обращения 15.08.2025).
- [2] ГОСТ ISO 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Москва, Стандартинформ, 2015.
- [3] Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Москва, ООО «АльянсПринт», 2020, 401 с.
- [4] Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A cyber physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 2015, vol. 3, pp. 18–23.
- [5] Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA*, 2012, art. no. 1818. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>
- [6] El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. *IEEE MultiMedia*, 2018, vol. 25, № 2, pp. 87–92.
- [7] Söderberg R. et al. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals*, 2017, vol. 66, № 1, pp. 137–140.
- [8] Tao F. et al. Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, 2018, vol. 57, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>

-
- [9] Bolton R. N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms. *Journal of Service Management*, 2018, vol. 29, № 5, pp. 776–808.
 - [10] Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. *Colloquium-journal*, 2019, № 10 (34), pp. 101–104.
 - [11] Симченко Н.А., Цехла С.Ю. *Цифровые двойники в экономическом развитии промышленности: управление и эффекты*. Симферополь, Издательский дом КФУ, 2021, 238 с.
 - [12] Kaplan R.S., Norton D.P. *The Balanced Scorecard: Measures That Drive Performance*. Harvard Business Review, 1992, January/February, pp. 71–79.
 - [13] Орлова Е.А., Липалина С.Ю. Оценка эффективности деятельности предприятия с использованием сбалансированной системы показателей. *Вестник Московского университета МВД России*, 2013, № 11, с. [221–227](#).
 - [14] Мусатова Т.Е., Желиховский Д.О. Методика прогнозирования эффективности инновационного проекта на основе экспертных оценок. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 1–1, 634 с.