



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №9 (159). С.33-41.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №9 (159). P.33-41.

Научная статья
УДК 658.562
doi: 10.30987/2223-4608-2024-33-41

Управление качеством наукоёмких процессов

Виктор Андреевич Васильев¹, д.т.н.

Светлана Викторовна Александрова², к.т.н.

^{1, 2} Московский авиационный институт МАИ (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

¹ МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

¹ Vasiliev1952va@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9656-3651>

² vasil-s@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1717-4612>

Аннотация. В статье показана роль информационных (цифровых) технологий в успешном высокотехнологичном предприятии. Проанализированы направления развития средств и методов управления качеством для наукоёмких инновационных процессов и производств на различных этапах жизненного цикла продукции. Наиболее важными методами являются цифровизация сбора, хранения и анализа больших объемов данных, контроль производственных и управленческих процессов, построение системы управления жизненным циклом продукции на основе современных информационных технологий. Для реализации новых подходов к организации производства используется цифровая трансформация – процесс преобразования компании, направленный на формирование единой информационной среды на всем жизненном цикле продукции, сочетающий различные методы и инструменты управления данными на предприятии. Важным шагом в развитии технологии обработки данных является использование искусственного интеллекта и нейронных сетей. Параллельно с развитием информационных технологий растут и возможности аналитики от описательной до предписывающей и когнитивной. На основе анализа передового опыта в управлении качеством, можно сделать вывод о возможности и необходимости цифровизации наукоёмких процессов с переходом к более эффективным методам организации производства и менеджмента качества.

Ключевые слова: качество, менеджмент качества, процессный подход, цифровые технологии, жизненный цикл продукции

Благодарности: данное исследование было проведено в рамках работы по Соглашению о предоставлении из федерального бюджета гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития № 075-15-2024-527 от «23» апреля 2024 г.

Для цитирования: Васильев В.А., Александрова С.В. Управление качеством наукоёмких процессов // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 9 (159). С. 33–41. doi: 10.30987/2223-4608-2024-33-41

Quality management of knowledge-based processes

Viktor A. Vasiliev¹, D. Eng.

Svetlana V. Alexandrova², PhD. Eng.

^{1,2} Moscow Aviation Institute MAI (National Research University, Moscow, Russia)

¹ MIREA – Russian Technological University) Moscow, Russia

¹ Vasiliev1952va@yandex.ru

² vasil-s@yandex.ru

Abstract. The article shows the importance of information (digital) technologies in a successful high-tech enterprise. The directions of development of quality management tools and methods for knowledge-based innovative processes and productions at various stages of the product life cycle are analyzed. The most important methods are the digitalization of the collection, storage and analysis of large amounts of data, the control of production and management processes, the construction of a product lifecycle management system based on modern information technologies. To implement new approaches to the manufacturing process management, digital transformation is used - the process of transformation of a company aimed at forming a unified information environment throughout the product lifecycle, combining various methods and tools for data management at the enterprise. An important step in the development of data processing technology is the use of artificial intelligence and neural networks. Alongside with the development of information technology, the possibilities of analytics from descriptive to prescriptive and cognitive are also growing. Based on the analysis of best practices in quality management, it can be concluded that it is possible and necessary to digitalize knowledge-based processes with a transition to more efficient methods of organizing production and quality management.

Keywords: quality, quality management, process approach, digital technologies, product lifecycle

Acknowledgements: this research was carried out as part of the work under the Agreement on the provision of a grant from the federal budget for large-scale scientific projects in priority areas of scientific and technological development No. 075-15-2024-527 dated April 23, 2024.

For citation: Vasiliev V.A., Alexandrova S.V. Quality management of knowledge-based processes / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 9 (159). P. 33–41. doi: 10.30987/2223-4608-2024-33-41

Введение

Первые идеи в области организации производства относятся к временам египетских фараонов. Труд человека ценился дешево, средства производства были примитивными, и, следовательно, дешевыми, поэтому вопросы организации труда и средств производства не были первоочередными. Основное внимание уделялось вопросам управления как способу воздействия на людей для достижения поставленной цели и контроля их деятельности. Развитие средств труда, методов организации производства и совершенствование управления со времен античности до настоящего времени сопровождало развитие цивилизаций и повышение уровня жизни стран и народов. Совершенствование производства продукции от первых

ремесленников древних времен до современных наукоемких цифровых технологий наших дней привело к созданию Индустрии 4.0, повышению качества жизни.

По мере развития техники, технологий и общественных отношений менялось представление о качестве. Разделение труда, появление машин и механизмов привело к необходимости контроля качества продукции и изделий. Усложнение производственных процессов и массовое промышленное производство потребовало новых подходов. В процессе индустриализации вместе с контролем качества продукции появились методы обеспечения качества и управления качеством, а затем и системы менеджмента качества. Принципиальное преимущество управления качеством над контролем заключается в возможности

предотвращать несоответствия (дефекты), тогда как контроль качества позволяет лишь обнаружить и устранить дефекты. Такой подход обеспечивает повышение выхода годной продукции и снижает издержки производства. Для эффективного управления качеством в двадцатом веке были разработаны инструменты и методы контроля и управления качеством. Достаточно вспомнить работы В. Шухарта, А. Фейгенбаума, Э. Деминга и других ученых двадцатого века. Во многих ситуациях качество стало главной составляющей конкурентоспособности и востребованности продукции. Следующим шагом в направлении повышения качества стало появление систем менеджмента качества (СМК). Сейчас уже не все помнят, но в Советском Союзе многое сделали для создания и совершенствования систем качества. Большую роль сыграли СБТ (система бездефектного труда), БИП (бездефектное изготовление продукции), КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий) и прообраз современных систем на основе международных стандартов серии ИСО 9000 – отечественная КС УКП (комплексная система управления качеством продукции). В дальнейшем СМК развивались в рамках международных стандартов ИСО серии 9000 и смежных серий.

Развитие информатизации производства и переход на следующую стадию развития, которую часто называют «Индустрия 4.0» требует заменить часть устаревших управленческих технологий под управлением человека на цифровые технологии. Переход к Индустрии 4.0 и широкому внедрению цифровых технологий в современную экономику (в том числе в производственные и управленческие процессы) создал предпосылки для нового этапа развития менеджмента качества. На основе цифровых технологий и широкого использования автоматизированных средств сбора и анализа информации создаются новые подходы к управлению процессами. Совсем

недавно для анализа устойчивости и стабильности процессов безальтернативно использовались карты Шухарта, диаграммы Паретто и аналогичные инструменты вековой давности. Эти старые и надежные инструменты имеют серьезный недостаток – они дают информацию с большой задержкой во времени и ее анализ происходит после выпуска части (а иногда и всей партии) продукции. Это дает хорошие результаты при массовом выпуске однородной продукции, но при производстве сложной наукоемкой продукции штучно или небольшими партиями (самолеты, корабли, ракеты и др.) они неэффективны.

Для быстрого реагирования и устранения возникающих в производстве проблем уже созданы предпосылки к широкому использованию цифровых технологий. Замена человеческого труда в управлении производством на машинное автоматическое управление (в том числе и с использованием искусственного интеллекта), автоматизация процессов анализа данных от различных датчиков и разработка алгоритмов принятия решений (на основе предиктивной и предписывающей аналитики) по устранению несоответствий практически без участия человека приводит к повышению качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Кроме искусственного интеллекта большой потенциал имеется у других цифровых технологий – облачные решения, интернет вещей, машинное обучение, виртуальная и дополненная реальность и т. п.

Логично сделать вывод о необходимости совершенствовать цифровые методы организации производства и управления качеством. Особенно важно это при проектировании, моделировании и производстве сложной наукоемкой продукции. Жизненный цикл такой продукции состоит из наукоемких процессов, для управления которыми требуется высококвалифицированный персонал и современные цифровые технологии.

Цифровые технологии и менеджмент качества

Цифровая трансформация является современным трендом каждого предприятия или организации различных областей деятельности [1, 2]. Желаемыми результатами или «перспективой» цифровой трансформации в этой сфере являются улучшение качества продукта или услуги, соответствие требованиям стандартов и других нормативных документов, улучшение и ускорение процесса принятия решений, повышение эффективности производства при одновременном сохранении высокого качества продукции.

Разработаны программные продукты для реализации цифровых технологий в производстве. На современном этапе развития менеджмент качества применяет множество известных информационных технологий, в их числе: электронный документооборот (EDM системы), системы планирования ресурсов предприятия ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System), PLM (Product Life-cycle Management), MDM (Master Data Management), системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM Customer Relationship Management), управление бизнес-процессами (BPM) и др. Эти технологии обычно задействуют людей, их знания, интеллект и способности для обеспечения продуктивной работы.

Цифровая трансформация предполагает перевести рутинные операции управления в цифровой формат. В современном производстве и менеджменте качества существует много задач, которые предполагают большие затраты человеческого труда, например, ручной сбор и анализ данных о продукции, производственных процессах и системах, мониторинг процессов, принятие решений на основе фактов, расширение действия системы качества на изменяющиеся во времени и

пространстве процессы, выявление и анализ рисков и пр.

Результатом цифровой трансформации можно считать формирование единой информационной среды на всех этапах жизненного цикла продукции, включая цифровое конструирование и моделирование, цифровое производство, цифровая цепочка поставок, логистика и цифровая адаптация для потребителя продукта или продажах и сервисном обслуживании. В такой цифровой среде возможно формирование цифрового двойника производственных, технологических и бизнес-процессов, а также самого продукта и готового изделия производства. Серьезным вкладом цифровизации является управление процессами в режиме реального времени и дистанционное управление операциями.

Развитие цифровых технологий значительно расширяет возможности по управлению качеством на предприятиях различных сфер деятельности за счет сокращения «человеческого фактора» [3 – 6]. Однако не следует отождествлять цифровую трансформацию с сокращением человеческой деятельности. Цифровая трансформация снимает «рутину» со многих задач менеджмента качества, которую приходится выполнять персоналу любой организации. С приходом цифровых технологий главной задачей становится задача перепроектирования процессов и процедур таким образом, чтобы и люди, и цифровые устройства могли внести свой вклад в улучшение качества.

Влияние цифровизации обуславливает изменение принципов оценки результативности СМК в сторону непрерывного анализа. Непрерывность анализа предполагает постоянный мониторинг всех элементов СМК с целью повышения ее результативности и эффективности [7]. Важно заметить, что в настоящее время непрерывный анализ СМК – вполне реализуемая процедура, поскольку в условиях цифровизации целевые показатели результативности и эффективности становятся

объективными и доступными в интернет-пространстве в виде форумов, рейтингов компаний (например, народного рейтинга, служебного рейтинга и т. д.), что позволяет получать необходимую информацию о компании в реальном времени [8 – 10].

Цифровой двойник

Цифровой двойник – это виртуальное представление изделия или процесса, которое используется, чтобы оценивать и прогнозировать рабочие характеристики этого изделия или процесса [11]. Цифровые двойники являются сравнительно новым понятием, но их прототипами можно считать конструкторскую и технологическую документацию на основе CAD/CAM/CAE систем и CALS (ИПИ-информационная поддержка изделия) технологии. Конструкторская и технологическая документация в цифровом виде составляет основу цифрового двойника изделия или процесса. Цифровые двойники, также, как и ИПИ-технологии, используются на протяжении всего жизненного цикла изделия. Но в отличие от информационной поддержки, цифровой двойник можно использовать, чтобы проводить инженерный анализ, прогнозировать и оптимизировать работу изделия или производственной системы.

Цифровые двойники могут прогнозировать влияние изменений конструкции, технологических процессов, вариантов использования продукции, факторов окружающей среды и других условий на изделие или процесс и сокращают необходимость изготовления экспериментальных и опытных образцов. Благодаря моделированию, аналитике больших данных, предиктивной аналитике, искусственному интеллекту и машинному обучению можно сократить время разработки конструкций и технологий и повысить качество получившегося в результате изделия или процесса.

Область применения цифрового двойника зависит от того, на каком этапе жизненного цикла изделия происходит моделирование [12, 13]. На протяжении всех этапов жизненного цикла изделия или его производства, цифровые двойники используют данные с датчиков, установленных в достаточном количестве на физических объектах (станки, технологическое оборудование, элементы готового изделия), чтобы фиксировать работу объекта в реальном времени, условия работы и изменения параметров в процессе производства и эксплуатации. Таким образом, цифровые двойники совершенствуются и постоянно обновляются в соответствии с изменениями физического аналога на протяжении жизненного цикла изделия. В результате возникает замкнутая обратная связь в цифровой среде, что позволяет разработчикам и производителям постоянно оптимизировать свои изделия, производство и повышать производительность без потери качества. Цифровой двойник должен быть динамическим и постоянно обновляемым представлением реального физического продукта, устройства или процесса. В таком случае можно проводить виртуальные испытания и получать реальные результаты. Для сложной технической продукции сокращается время испытаний и сертификации, что позволяет ускорить выход продукции на рынок и повышает ее конкурентоспособность. При этом покупатели получают полноценную технологию управления жизненным циклом продукции. Такое изделие может самостоятельно собирать и отправлять разработчикам разнообразные данные и выполнять самодиагностику. Такая концепция уже реализована в авиации, космонавтике, атомной электроэнергетике. Расширяется она и на другие объекты – автомобилестроение, станкостроение и др. Цифровой двойник отразит необходимость ремонта или замены деталей в процессе эксплуатации. Грамотно созданный цифровой двойник позволит заказчику «увидеть» физический объект и получить

о нем полную информацию, в том числе о возможных событиях и проблемах.

Использование цифровых двойников в сочетании с другими цифровыми технологиями позволяет решить следующие задачи:

1. Регистрация и анализ данных. Это одна из задач в системе качества, требующих больших затрат труда. Появление быстродействующих систем хранения и обработки данных способны более эффективно, чем это было раньше, решать задачу измерения и регистрации всевозможных и, что самое главное, нужных данных, которые влияют (или могут повлиять) на качество продукции. Использование «Интернета вещей» для измерения функций процессов, а также продукции, является обязательным условием формирования источников больших данных. Использование датчиков, установленных на продукции, находящейся в пользовании клиентов, обеспечивает передачу производителю на протяжении всего жизненного цикла продукции данных об условиях эксплуатации, функционировании, отказах и т. п. Это позволяет непрерывно улучшать продукцию, предвидеть и предупредить сбои в ее эксплуатации, снижать затраты на техническое обслуживание. Вместе с этим технология Big Data (больших данных) способна анализировать данные массивы информации, поступающие из различных источников. Основными источниками больших данных могут быть: заказчики, поставщики (контрагенты), конкуренты, другие предприятия, партнеры, контролирующие органы – внешние источники; продукция, процессы, материалы, сырье персонал, производственная среда и инфраструктура – внутренние источники;

2. Мониторинг и контроль процессов СМК. Зачастую для управления процессами в системе менеджмента качества применяется такой метод менеджмента качества, как статистическая обработка данных (статистические методы). С появлением алгоритмов обучения нейронных сетей для этих целей стало

возможным применение искусственного интеллекта. Обученная нейронная сеть будет позволять выявлять тренды (тенденции) и изменения в процессах гораздо эффективнее и быстрее, чем человек или автоматизированные комплексы на основе обработки статданных;

3. Принятие решений, основанных на данных (свидетельствах), в условиях неопределенности (неоднозначности). Стандарты на системы менеджмента качества требуют создания достаточно жестких алгоритмизированных процессов исполнения процедур. Алгоритмы устанавливаются в картах процессов или операционных процедурах. В случае, если процесс является сложным и разветвленным, а выполнение операций зависит от меняющихся параметров, то необходимо либо регламентировать (прописывать) всевозможные варианты течения процесса, либо полагаться на экспертное решение исполнителей процесса. Любая неопределенность может привести к нежелательной ситуации в процессе. Цифровая трансформация позволяет решить эту проблему за счет применения предиктивной аналитики. Благодаря инструментам предиктивной аналитики компании могут анализировать и прогнозировать протекающие во времени процессы, выявлять тенденции, предвидеть изменения и, следовательно, более эффективно планировать будущее.

Цифровая аналитика больших данных

Одним из серьезных преимуществ использования цифровых технологий в производстве является возможность быстрой обработки получаемых данных. Современные технологии производства позволяют получать громадное количество информации о процессах, но человек не всегда может использовать эти необработанные данные. На помощь могут прийти различные алгоритмы обработки данных и визуализация результатов, но этого тоже может быть недостаточно. Следующим шагом

в развитии технологии обработки данных является использование искусственного интеллекта и нейронных сетей. Параллельно с развитием информационных технологий растут и возможности аналитики.

Аналитику можно разделить на группы по глубине анализа и значимости результатов [3]. Описательные – это наиболее традиционные показатели для мониторинга известных или предполагаемых корреляций. Качество генерирует описательные показатели (количество открытых событий качества), диагностические показатели (время цикла процесса качества для выявления узких мест) и предсказательные показатели, такие как анализ тенденций.

Описательная аналитика предполагает выявление негативных и позитивных событий в прошлом (ответ на вопрос: «что случилось?»). Она использует регистрацию выявленных несоответствий в процессах и продукции с минимальным анализом причин отклонений, что приводит к формальной реализации процессного управления. Такая аналитика может считаться устаревшей и не отвечающей текущим требованиям рынка наукоемкой продукции.

Оценивающая или *диагностическая* аналитика обеспечивает не только выявление, но и анализ прошедших событий (ответ на вопрос: «что и почему случилось?»). Она обеспечивает процессное управление, регистрацию и анализ выявленных несоответствий с последующим детальным анализом причин отклонения. На основе такой аналитики можно оценивать соответствие производимой продукции текущим требованиям рынка, но не обеспечивается соответствие новым требованиям в будущем.

Более развитая *предсказывающая* (предиктивная) аналитика реализует предвидение события в будущем (ответ на вопрос: «что, где и почему случится?»). Она предполагает внедрение инструментов мониторинга текущего

состояния процессов и прогнозирования изменений, применение статистических методов управления процессами, реализацию риск-менеджмента в управлении процессами. Такой инструмент анализа позволяет продукции соответствовать текущим требованиям рынка и превосходить их, возможность соответствовать требованиям будущего рынка.

Предписывающая аналитика и принятие решений на основе моделирования ситуаций в будущем (аналитическая система, функционирующая на основе Big Data Analytic) имеет способность соответствовать и превосходить текущие требования рынка, быстро следует за трансформациями рынка.

Когнитивная аналитика предполагает самообучающееся и полностью автоматизированное предприятие (компьютеризация имитации человеческого мышления и действия по отношению к автономному предприятию). Это автоматизированная, предупреждающая, самокорректирующая, самообучающаяся СМК. Предполагает выполнение сотрудниками в области качества аналитических функций и автоматизированную реализацию менеджмента качества в процессах предприятия.

Компании могут применять аналитику больших данных или ML / AI (машинное обучение / искусственный интеллект) к традиционным данным или большим данным для определения корреляций на основе закономерностей, что приводит к новому пониманию процессов. Эти аналитические данные часто гораздо более конкретны, чем традиционная аналитика, например, прогнозирование отказа каждой конкретной машины искусственный интеллект может идентифицировать, диагностировать и в конечном итоге предсказать закономерность, которая приведет к негативному результату, такому как сбой продукта или процесса. Предписывающая аналитика является более продвинутой; она предсказывает неудачу и указывает, что следует сделать для устранения или изменения

результата, и обычно включают некоторый уровень автономного поведения. Описательная, диагностическая и прогностическая аналитика выполняется с использованием традиционных данных, но новые идеи реализуются с помощью ML / AI. Предписывающая аналитика относится исключительно к области ML / AI.

Наряду с рассмотренными аналитическими возможностями целесообразно использовать и другие цифровые технологии [14]. Например, визуализация развивается вместе с данными и обеспечивает более эффективную интерпретацию человеком. Традиционные визуализации включают отчеты, диаграммы и информационные панели. Компании, стремящиеся к Качеству 4.0, должны строить свою аналитическую стратегию после или одновременно со стратегией обработки данных.

Блокчейн – это еще одна преобразующая технология с будущим потенциалом для повышения качества, особенно в области безопасности и прослеживаемости. Блокчейн представляет собой распределенную систему хранения данных, где каждый блок выступает как запись, содержащую отметку времени и связанную с соответствующими блоками и данными. Блокчейн возник как финансовая технология, но сейчас его пробуют и промышленные компании. Использование Блокчейн в производстве изделий повышенного риска (медицинские изделия и препараты, продукты питания и др.) позволяет повысить доверие потребителя к продукции и в ряде случаев заменить сертификацию.

Выводы

Цифровизация проникает во многие сферы жизни и деятельности человека, в том числе в систему менеджмента качества предприятий и организаций. На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что цифровизация процессов пойдет на пользу любой

организации, в которой она функционирует. Получение в автоматическом режиме неограниченного объема данных о продукции с последующим машинным анализом, принятие решений за минимально возможное время, моделирование на основе цифровых двойников – это цель, которая стоит средств. Несмотря на то, что цифровизация СМК требует больших финансовых затрат на создание и обслуживание цифровой инфраструктуры, баланс преимуществ и недостатков однозначно в пользу цифровизации в части производства наукоемкой, сложной технической продукции. Для реализации этих планов необходимо готовить квалифицированных специалистов по анализу сложных многоуровневых цифровых систем, умеющих работать как с системами менеджмента качества, так и цифровыми технологиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Quality 4.0** – важная составная часть концепции Индустрии 4.0 URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Качество_4.0_\(Quality_4.0\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Качество_4.0_(Quality_4.0))
2. **Руководство** по влиянию и стратегии качества 4.0 URL: https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/quality-4-0-impact-strategy-109087.pdf
3. **Evgeny A. Kovrigin, Victor A. Vasiliev.** Trends in the development of a digital quality management system in the aerospace industry // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 868 (2020) 012011 doi:10.1088/1757-899X/868/1/012011.
4. **Victor A. Vasiliev, Svetlana V. Aleksandrova, Mark N. Aleksandrov.** Problems of Implementing Information Security Management Systems. Proceedings of the 2020 IEEE (IT&QM&IS) Pp. 78–81.
5. **Vasiliev V.A., Aleksandrova S.V.** The prospects for the creation of a digital quality management system DQMS // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2020. 2020. Pp. 53–55, 9322890.
6. **Васильев В.А., Александрова С.В., Александров М.Н.** УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. Монография. Москва: Издательство: МАИ (Москва). 2020. 160 с. ISBN: 978-5-4316-0726-4
7. **Vasiliev V.A., Velmakina Y.V., Mayborodin A.B., Aleksandrova S.V.** Use of Information Technologies for the Integration of an Enterprise Quality Management System with the Requirements of the Related Standards // Russian Metallurgy (Metally). 2020. 2020(13). Pp. 1644–1648.

8. **Рагимова С.** Цифровая Индустрия 4.0 // Forbes. Цифровая трансформация бизнеса. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/brandvoice/sap/345779-chetyre-nol-v-nashu-polzu>

9. **Васильев В.А., Александрова С.В., Александров М.Н.** Интеграция менеджмента качества и цифровых технологий // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 9 (148). С. 14–19.

10. **Козловский В.Н.** Стратегическое планирование конкурентоспособности с точки зрения качества / В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, С.А. Шанин // Стандарты и качество. 2017. № 3. С. 76–80.

11. **Рагуткин А.В., Сидоров М.И., Ставровский М.Е.** Некоторые аспекты создания и согласования цифровых двойников изделий и производства // Технология машиностроения. 2020. № 4. С. 54–60.

12. **Рагуткин А.В., Сидоров М.И., Юрцев Е.С.** Модели организации цифрового машиностроительного производства. М.: Издательство «Эко-Пресс», 2021. 289 с.

13. **Development of digital machine-building production in the industry 4.0 concept / A. V. Ragutkin [and ath.].** Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Т. 47. № 4. Pp. 380–385.

14. **Васильев В.А., Александрова С.В.** Цифровые технологии в управлении качеством // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 35–41.

REFERENCES

1. Quality 4.0 is an important component of the Industry 4.0 URL concept: [https://www.tadviser.ru/index.php/Article:Quality_4_\(Quality_4.0\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Article:Quality_4_(Quality_4.0))

2. A guide to the impact and strategy of Quality 4.0 URL: https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/quality-4-0-impact-strategy-109087.pdf

3. Evgeny A. Kovrigin, Victor A. Vasiliev. Trends in the development of a digital quality management system in the aerospace industry // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 868 (2020) 012011 doi:10.1088/1757-899X/868/1/012011.

4. Victor A. Vasiliev, Svetlana V. Aleksandrova, Mark N. Aleksandrov. Problems of Implementing Information

Security Management Systems. Proceedings of the 2020 IEEE (IT&QM&IS) Pp.78–81.

5. Vasiliev, V.A., Aleksandrova, S.V. The prospects for the creation of a digital quality management system DQMS // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2020. 2020. Pp. 53–55, 9322890

6. Vasiliev V.A., Alexandrova S.V., Alexandrov M.N. QUALITY MANAGEMENT AND DIGITAL TECHNOLOGIES. Monograph. Moscow: Publishing House: MAI (Moscow), 2020, 160 p. ISBN: 978-5-4316-0726-4

7. Vasiliev, V.A., Velmakina, Y.V., Mayboro-din, A.B., Aleksandrova, S.V. Use of Information Technologies for the Integration of an Enterprise Quality Management System with the Requirements of the Related Standards // Russian Metallurgy (Metally). 2020. 2020(13). Pp. 1644–1648

8. Rahimova S. Digital Industry 4.0 // Forbes. Digital business transformation. [electronic resource]. URL: <https://www.forbes.ru/brandvoice/sap/345779-chetyre-nol-v-nashu-polzu>

9. Vasiliev V.A., Alexandrova S.V., Alexandrov M.N. Integration of quality management and digital technologies // Quality. Innovation. Education, 2017, no. 9 (148), pp. 14–19.

10. Kozlovsky, V.N. Strategic planning of competitiveness from the perspectives of quality / V.N. Kozlovsky, D.I. Panjukov, S.A. Shanin // Standards and quality, 2017, no. 3, pp. 76–80.

11. Ragutkin A.V., Sidorov M.I., Stavrovsky M.E. Some aspects of the creation and coordination of digital counterparts of products and production // Technology of machine building, 2020, no. 4, pp. 54–60.

12. Ragutkin A.V., Sidorov M.I., Yurtsev E.S. Models of the organization of digital machine-building production. Moscow: Publishing house «Eco-Press», 2021, 289 p.

13. Development of digital machine-building production in the industry 4.0 concept / A.V. Ragutkin [and ath.]. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Т. 47. № 4. Pp. 380–385.

14. Vasiliev V.A., Alexandrova S.V. Digital technologies in quality management // News of the Tula state university. Technical sciences, 2020, no. 10, pp. 35–41.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024; одобрена после рецензирования 17.04.2024; принята к публикации 05.06.2024.

The article was submitted 04.04.2024; approved after reviewing 17.04.2024; assepted for publication 05.06.2024.