

УДК 658.51

Интеграция систем визуализации в организацию производства изделий, где преобладает ручной труд

Ванчурин Михаил Дмитриевич

mikhail.vanchurin@gmail.com

Затонский Игорь Владимирович

igorzatonskiy00@mail.ru

Васильев Виктор Андреевич

vasiliev1952va@yandex.ru

Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность внедрения систем визуализации на производствах с преобладанием ручного труда. Представлена концепция модели интеграции QR-маркеров для создания цифровых двойников оснастки, материалов, изделий и др. Показано, что система может обеспечивать сквозную прослеживаемость, оперативное перераспределение ресурсов и предиктивное управление качеством, сокращая временные затраты на операции на 60–80 %. Сделаны выводы, что данный подход можно применять для повышения управляемости и эффективности без кардинальной перестройки процессов, однако успех внедрения зависит от готовности персонала и исполнительской дисциплины.

Ключевые слова: организация производства, системы визуализации, ручной труд, QR-маркеры, бережливое производство, предиктивное управление

Economics and organization of machine-building production

Vanchurin Mikhail Dmitrievich

mikhail.vanchurin@gmail.com

Zatonsky Igor Vladimirovich

igorzatonskiy00@mail.ru

Vasiliev Victor Andreevich

vasiliev1952va@yandex.ru

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

Abstract. The possibility of introducing visualization systems in industries with a predominance of manual labor is considered. The concept of a QR marker integration model for creating digital counterparts of tooling, materials, products, etc. is presented. It is shown that the system can provide end-to-end traceability, operational resource reallocation and predictive quality management, reducing the time spent on operations by 60–80 %. It is concluded that this approach can be used to increase manageability and efficiency without radically restructuring processes, however, the success of implementation depends on staff readiness and performance discipline.

Keywords: production organization, visualization systems, manual labor, QR marker, lean manufacturing, predictive management

Введение. Современные тенденции цифровизации производства зачастую ориентированы на высокоавтоматизированные предприятия [1], оставляя в стороне сегменты с преобладанием ручного труда, характерные для мелко-серийного и опытного производства. Однако именно в этих условиях наибо-

лее остро стоят задачи повышения управляемости, точности и прослеживаемости процессов без кардинального изменения их гибкой, человеко-ориентированной природы.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки модели организации производства, интегрирующей системы визуализации и цифрового управления в технологические процессы с доминирующей долей ручных операций. Ключевой задачей выступает создание механизма сквозного контроля на основе визуальной идентификации физических объектов (оснастки, материалов, изделий и др.) с помощью QR-маркеров и мобильных устройств, что позволяет создать их цифровые двойники и обеспечить оперативное перераспределение ресурсов в реальном времени. Данное исследование направлено на демонстрацию возможности значительного повышения эффективности производства за счет дополнения ручного труда цифровыми инструментами, а не его полного замещения.

Материалы и методы. Основой исследования является разработка модели организации производства изделий, при изготовлении которых преобладает ручной труд. Ключевой задачей является интеграция систем визуализации и цифрового управления в традиционный технологический процесс для повышения его управляемости, точности и прослеживаемости без кардинального изменения характера операций. Как демонстрируют результаты исследований [2–4], подобные системы, основанные на интеграции мобильных технологий и QR-маркеров, показывают высокую эффективность в управлении производственными процессами. В частности, использование смартфонов для сканирования QR-маркеров не только обеспечивает оперативный доступ к информации, но и создает цифровую прослеживаемость операций, что соответствует требованиям систем менеджмента качества согласно стандартам ИСО серии 9000.

Объектом исследования выступил производственный участок мелкосерийного изготовления изделий из композитных материалов. Ключевыми материальными объектами являлись оснастка, транспортные единицы, зоны хранения, партии материалов и готовые изделия. Организация производства строится по ячеистому принципу, основанному на принципах бережливого производства, с четким зонированием на участки подготовки материалов, формования, отверждения, постобработки и складирования [5]. Перемещение заготовок и готовых изделий между зонами обеспечивается с помощью мобильных тележек, что минимизирует непроизводительные перемещения и формирует логистику «конвейера без конвейера».

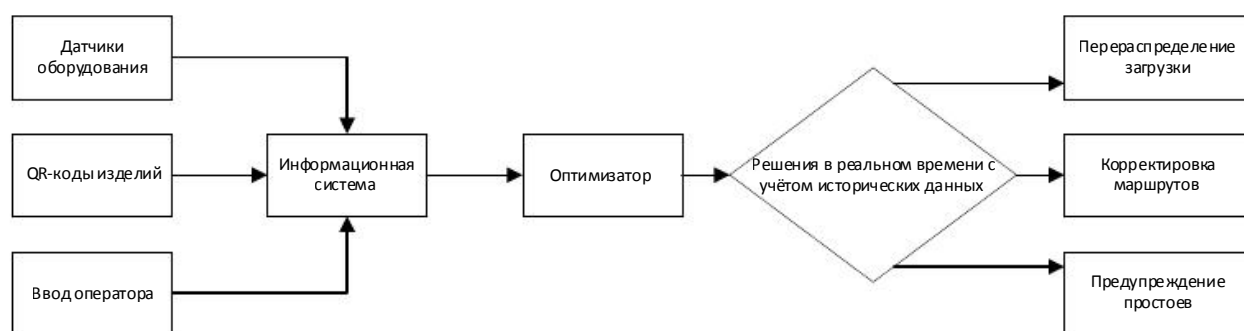
Центральным элементом исследования является проектируемая цифровая платформа, обеспечивающая сквозную визуализацию и контроль технологического цикла. Ее функционирование основано на системе визуальной идентификации физических объектов через уникальные QR-маркеры. Маркировка наносится на ключевые носители: оснастку, транспортные единицы, зоны хранения и партии материалов. Сканирование маркеров осуществляется

с помощью мобильных устройств и смонтированных камер на производственных участках, что позволяет в реальном времени связывать физический объект с его цифровым двойником в системе.

Каждый цифровой двойник аккумулирует полную историю операций с объектом: данные о подготовке материалов, параметры процессов изготовления изделия, сведения об операторах, результаты контроля качества. Оперативное сканирование маркеров не только фиксирует факт выполнения операции, но и служит триггером для системы оптимизации, которая на основе поступающих данных в реальном времени корректирует производственные задания и перераспределяет ресурсы.

Результаты. Центральным результатом исследования является разработка модели цифровой платформы, обеспечивающей сквозной контроль технологического процесса через систему визуальной идентификации. Планируется, что использование QR-маркеров в качестве цифровых идентификаторов для оснастки, материалов и изделий создаст устойчивую связь между физическими объектами и их виртуальными представлениями в системе.

Каждое сканирование QR-кода оператором активирует алгоритм оперативного управления, который анализирует текущее состояние процесса с учетом исторических данных (см. рисунок). На их основе, а также сигналов от датчиков оборудования, система в реальном времени генерирует решения для динамического перераспределения нагрузки между линиями или участками, корректирует маршруты движения материалов и заданий. Это позволит компенсировать задержки, предотвращать простои и обеспечивать непрерывность производственных потоков.



Функциональная работа системы визуализации в изготовлении изделий

Ключевым элементом модели является механизм предиктивного управления качеством, который выявляет корреляции между параметрами операций и возможными дефектами [6]. На основе исторических данных система формирует рекомендации по корректировке технологических режимов для предупреждения брака.

По расчетным оценкам автоматизация учетных и логистических операций за счет их визуальной идентификации и интеграции с цифровыми двойниками обладает потенциалом сократить временные затраты как на основные, так и на вспомогательные операции на 60-80 %. Высвобождаемый

временной ресурс может быть перенаправлен на непосредственно производственный труд, что ведет к росту общей пропускной способности участка и снижению прямых и косвенных издержек, связанных с простоями.

Так, внедрение такой системы позволит трансформировать управление производственным процессом, где ручной труд дополняется цифровым контролем и оперативной переналадкой. Это приводит к значительному сокращению временных затрат на операции, повышению гибкости и общей эффективности производства.

Обсуждение. Разрабатываемая модель интеграции систем визуализации в производство с преобладанием ручного труда представляет собой практическую попытку решения фундаментального противоречия между необходимостью цифровизации и экономической целесообразностью сохранения гибких ручных операций. Полученные проектные решения позволяют выделить несколько ключевых аспектов для обсуждения.

Принципиальным вопросом является сама возможность эффективного сочетания низкотехнологичного ручного труда с цифровыми технологиями контроля. Предлагаемый подход, основанный на QR-идентификации и мобильных устройствах, представляется компромиссным решением, позволяющим получить преимущества цифровизации без капиталоемкой автоматизации. Однако успешность этой интеграции будет определяться не техническими возможностями, а организационными факторами: готовностью персонала к работе с цифровыми инструментами и адаптацией традиционных процессов к новым требованиям контроля.

Важным аспектом для обсуждения является трансформация роли ручного труда в предлагаемой модели. Оператор перестает быть лишь исполнителем, становясь ключевым звеном в системе сбора данных через процедуры сканирования. Это повышает значимость человеческого фактора, что требует пересмотра подходов к обучению и мотивации персонала. Необходима разработка не только технологических инструкций, но и программ формирования цифровой грамотности.

Перспективным направлением представляется разрабатываемый механизм предиктивного управления качеством на основе математического моделирования и численных методов [7]. Его особенностью является ориентация не на тотальный контроль параметров, а на выявление критических точек процесса, где ручные операции наиболее подвержены вариабельности. Такой подход может стать более эффективным для малых производств по сравнению с традиционными системами статистического контроля качества.

Существенным ограничением модели является ее зависимость от дисциплины персонала в части сканирования QR-маркеров. Пропуск даже одного акта сканирования может привести к нарушению целостности данных и снижению эффективности всей системы. Это требует разработки продуманной системы мотивации и контроля исполнительской дисциплины.

Однако, внедрение разрабатываемой модели может столкнуться с сопротивлением персонала, связанным с необходимостью освоения новых цифро-

вых инструментов и повышением прозрачности выполнения операций [8]. Это требует заблаговременной разработки программ организационного сопровождения внедрения.

Таким образом, предлагаемая модель открывает новые возможности для организации производством и управления качеством с преобладанием ручного труда при изготовлении изделий, но ее успешная реализация требует учета не только технологических, но и организационно-человеческих факторов.

Заключение. Разрабатываемая модель интеграции систем визуализации на основе QR-маркеров и мобильных устройств демонстрирует высокий потенциал для повышения управляемости, точности и прослеживаемости в производствах с преобладанием ручного труда, обеспечивая создание цифровых двойников и оперативное перераспределение ресурсов без кардинального изменения существующих процессов. Ключевыми результатами являются значительное сокращение временных затрат на операции, внедрение предиктивного управления качеством и оптимизация логистики, однако успешная реализация модели зависит не только от технологических решений, но и от организационных факторов, включая готовность персонала к работе с цифровыми инструментами и обеспечение исполнительской дисциплины.

Список источников

- [1] Балашов А. М. Цифровизация и использование искусственного интеллекта в производственных процессах современных предприятий. *Теоретическая экономика*, 2024, № 11, с. 34–41.
- [2] Vasilyev R.S., Losev K.Y., Cheprasov A.G., Bektash D.T. BIM and QR-codes interaction on a construction site. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1425, art. no. 012089.
- [3] Affit I., Pratikto, Sumantri Y. Rancangan tracking material system untuk pelacakan dan pemindahan komponen antar gudang (studi kasus PT. Pindad). *Rekayasa Mesin*, 2024, vol. 15, no. 2, pp. 809–821. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i2.1544>
- [4] Сафронов О.Е. Экономические последствия маркировки и отслеживания узлов, агрегатов и комплектующих в системах идентификации машиностроительной продукции. *Финансовые рынки и банки*, 2024, № 1, с. 80–84.
- [5] Bajric H., Ferizbegovic F., Begic-Pecar M. Comparison of lean cellular manufacturing organization models: Multiple case study analysis. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 55–74.
- [6] Bussa S. Machine Learning in Predictive Quality Assurance. *Stallion Journal for Multidisciplinary Associated Research Studies*, 2022, vol. 1, no. 6, pp. 54–66.
- [7] Васильев В.А., Одинокоев С.А. Сбор и анализ данных в управлении качеством технологического процесса. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2023, вып. 5, с. 234–237.
- [8] Родионова В.Н., Каблашова И.В., Логунова И.В., Кривякин К.С. Методический подход к исследованию направлений повышения эффективности организации производства на предприятиях. *Организатор производства*, 2022, № 1, с. 36–51.