Сравнительный анализ способов маркировки деталей для цифрового двойника в ручном производстве

Тарасова Е.В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

katy.tarasova.16@gmail.com

Аннотация. **В статье проведён сравнительный анализ линейного штрих-кода, QR-кода и RFID для идентификации деталей и их связи с цифровыми записями в условиях ручного производства. Способы маркировки сопоставлены по стоимости внедрения, трудозатратам оператора, устойчивости считывания и зависимости полноты данных от человеческого фактора. Установлено, что при ручной регистрации операций наиболее рациональным решением является QR-код, тогда как RFID может быть целесообразен при необходимости автоматизации учёта.**

Ключевые слова: цифровой двойник; ручное производство; идентификация деталей; штрих-код; QR-код; RFID; маркировка

I. Введение

В производстве с большой долей ручного труда цифровизация затруднена тем, что отдельные операции выполняются работниками, но не всегда своевременно фиксируются в информационной системе. В результате сведения о состоянии детали и последовательности производственных действий могут оказаться неполными. Применение цифрового двойника предполагает связь физического изделия с его цифровым представлением, для чего каждой учитываемой детали необходимо присвоить уникальный идентификатор. Маркировка позволяет установить эту связь и обеспечить обращение к цифровой записи конкретного изделия.

Актуальностью исследования является необходимость выбрать способ идентификации, предназначенный для использования при ручной сборке, не требуя от персонала значительного увеличения сложности рабочих процессов. Публикации фокусируются на конкретных решениях, направленных на внедрение цифровых технологий в производства с преобладанием ручных операций [1], а также общие возможности и организационные трудности цифровой трансформации предприятий [2]. Вместе с тем, для внедрения цифрового двойника недостаточно выбрать только технологию маркировки, важно также учитывать её стоимость, порядок регистрации операций и комфорт для исполнителя и вероятность пропуска данных.

В зарубежных исследованиях при ручной сборке изучаются возможности цифровизации процессов операционной деятельности. Так, в работе Л. Вилаш Боаша и соавторов [3] рассмотрена система контроля ручной сборки на основе семантического двойника, синтетических данных и компьютерного зрения. Авторы указывают на возможности цифровой поддержки оператора и регистрации показателей процесса. Однако основной предмет этой работы является контролем управления процессом сборки, а не сравнение линейных штрих-кодов, QR-кодов и RFID-меток для идентификации деталей.

Следовательно, рассмотренные функции определяют определенные особенности цифровизации и ручного труда, контроля производственных операций [1; 2; 3]. Изучение RFID и радиочастотной идентификации позволяет определить особенности различных маркировок [4; 6; 7]. Однако для того, чтобы работа была рассмотрена, необходимо сравнить эти методы по-разному с точки зрения принципов, которые особенно важны для ручного производства и создания цифрового наследия компонента. Этот вопрос определяет направленность данного исследования.

Цель исследования является определение того, какой метод маркировки лучше использовать для объединения деталей с цифровыми записями в изделиях ручной работы. Исследовательский вопрос заключается в том, какие методы как линейный штрих-кода, QR-код или RFID смогут обеспечить достаточную оценку затрат на внедрение, усилий пользователя, надежности считывания и того, насколько полнота данных зависит от объекта исследования.

Для достижения данной цели необходимо проанализировать ключевые характеристики использования линейных штрих-кодов, QR-кодов и RFID-кодов в производственных условиях. Также определить преимущества и ограничения и сравнить эти технологии в соответствии с выбранными критериями. Особое внимание уделяется стоимости внедрения, потребностям в инструментах обучения, удобству сотрудников и устойчивости идентификации к внешним воздействиям. На основании полученных результатов возможно определить метод маркировки, наиболее подходящий для использования в производстве с использованием ручного труда, учитывая технологи и организационные особенности производственного процесса.

II. Метод исследования

В исследовании используется аналитический подход для сравнения научных публикаций, технических аспектов и также условий их использования. Сравнение основано на таких критериях как: затраты на изготовление маркировок, а также задачи, которые должен выполнять сотрудник; степень влияния ошибок сотрудника на завершение цифровой записи;

устойчивость к обучению; пригодность для ручной сборки. Причина выбора критериев заключается в том, что при объединении изделий ручной работы важны не только технические параметры решения, но и возможность его реализации организацией. [2].

В рамках исследования данный анализ основан на выявлении их сильных и слабых сторон в зависимости от условий производства. При сравнении методов маркировки основное внимание уделяется их использованию непосредственно на рабочем месте. Степени участия оператора в определении деталей и требований, предъявляемых к оборудованию. Кроме того, учитывается влияние окружающей среды на производительность, качество разметки обучения и вероятность последующей доставки полученных данных в бизнес-информационную систему.

Оценка рассмотренных технологий проводится на без учета показателей затрат и тестового коэффициента за время обучения. Этот метод позволяет выявить общие характеристики использования линейных штрих-кодов, QR-кодов и RFID в производстве. Сравнение результатов при этом проводится с точки зрения организации цифрового учета деталей и формирование их истории. Главным приоритетом является выбор решения, обеспечивающего баланс между техническими знаниями, затратами на внедрение и удобством использования сотрудниками.

III. Результаты и обсуждение

Линейный штрих-код представляет собой устоявшийся метод автоматической идентификации промышленных деталей. В работе А.В. Провоторова и А.В. Астафьева [4] рассматриваются технологии идентификации и особенности их использования в производственных условиях. Преимуществом линейного штрих-кода является сравнительно низкая стоимость нанесения: для применения обычно достаточно напечатанной метки и совместимого сканера. Однако работнику необходимо найти код, обеспечить его видимость и выполнить считывание. Если штрих-код содержит информацию о изделия, его характеристиках и выполняемых операциях, которые хранятся в информационной системе, а не непосредственно на метке.

Поэтому полная цифровая история детали зависит от своевременной регистрации действий. Качество распознавания определяется тем на сколько изображение не загрязнено, нет царапины или повреждений, которые могут препятствовать считыванию. Для ручной сборки этот способ подходящий, если метка остаётся всегда доступной, а выполнение сканирования включено в последовательность операций.

В ручном производстве при использовании линейных штрих-кодов важное значение имеет организация рабочего места. Маркировка должна быть расположена так, чтобы рабочий смог быстро ее обнаружить и выполнить считывание без какой-либо дополнительной обработки детали.

Также важно отметить, что на разных этапах сборки положение изделия может меняться, а определённые участки его поверхности становятся недоступными для сканера. Поэтому место для штрих-кода необходимо определять с учетом последовательности технологических операций.

Еще одним ограничением для линейного штрих-кода является необходимость соблюдения определенных требований к размеру изображения и качеству печати. Если между штрихами и фоном недостаточные различия, например поверхность загрязнена или метка механически повреждена, то вероятность успешного чтения снижается. В таких случаях сотрудник должен либо повторить сканирование, либо использовать другие методы для идентификации детали, что увеличивает продолжительность операции. Поэтому, эффективность использования линейных штрих-кодов во многом зависит от условий их размещения и организации процесса регистрации данных, даже несмотря на достаточно низкую стоимость реализации.

QR-код может разместить больше информации, чем линейный штрих-код и представляет из себя двумерный способ кодирования. Печатная QR-метка достаточно недорогая, а для её считывания можно использовать как мобильное устройство, так и специализированный сканер. Структура и требования к QR Code определяются ГОСТ Р ИСО/МЭК 18004-2015 [5]. Код может содержать уникальный идентификатор детали либо ссылку на соответствующую запись. При этом больший объём кодируемых данных сам по себе не показывает полную цифровую историю, то есть сведения о выполненных операциях всё равно должны поступать в информационную систему. Из этого следует, что при регистрации действий сотрудников всегда возможны ошибки и упущения. Методы исправления ошибок, представленные в QR-коде, позволяют изучить их в случае каких-либо повреждений, но любое серьезное загрязнение или разрушение этикетки может сделать прием невозможным. QR-код подходит для ручной сборки благодаря возможности недорогой печати и изучения существующих инструментов, особенно если необходимо подготовиться к идентификации без значительных затрат на специализированные инструменты.

Практическое использование QR-кодов в условиях ручного производства может быть запрограммировано с использованием различных меток для каждого компонента. Перед выполнением задания сотрудник сканирует код с помощью сканирующего устройства, после чего информационная система получает цифровую запись. По завершении работы информация о выполненных действиях заносится в программу. Такой подход позволяет продолжить создание цифровой истории продукта и обеспечивает доступ к информации о его состоянии на различных этапах производственного процесса.

RFID это метод радиочастотной идентификации, при котором данные с метки считываются с помощью радиосигнала. В отличие от визуальных кодов, RFID не требует прямой видимости метки при соблюдении условий радио считывания. Р.Р. Зиннуров и соавторы [6] рассматривают возможность использования RFID для отслеживания состава стеклопластиковых труб. Идентификация продукта на каждом этапе облегчает получение информации о производственном процессе. Считывание метки без ручного наведения на сканер позволяет сократить количество действий оператора и снизить риск потери регистрации движения. Однако сам

факт обучения не обязательно подразумевает автоматическую регистрацию всех технологических действий. Для этого требуется надлежащая организация системы и использование ресурсов и информационной системы. Надежность RFID-меток зависит от расстояния, параметров меток и работников, производственных факторов и условий радиопередачи. В работе Д.Ю. Камозина [7] описывается разница между использованием RFID и штрихкодирования в логистических системах. В условиях ручного производства использование RFID может быть оптимизировано за счет постоянного потока деталей и необходимости автоматического учета. Однако это требует дополнительных затрат на обучение, настройку и интеграцию.

В случае с ручным производством важным преимуществом RFID является возможность идентификации деталей без непосредственного контакта с работником и использования бирки. Считыватели могут быть размещены в определенных производственных зонах, что позволяет записывать информации на изделиях с указанными контрольными точками.

Этот метод особенно важен в системах, где детали часто перемещаются между рабочими станциями, а необходимость в различных сканированиях увеличивает нагрузку на экипаж.

Однако, прежде чем использовать RFID метки, необходимо сначала проанализировать состояние изделия. На качество радиочастотной идентификации могут влиять металлические поверхности, расположение прибора и взаимное расположение метки и считывателя. Если в производстве одновременно присутствует несколько помеченных продуктов, необходимо проверить правильность идентификации каждого из них и исключить неправильную привязку зарегистрированного события к производительности технологии.

Таким образом, эффективность RFID зависит не только от параметров самих меток, но и от точной конфигурации ресурсов и связью с информационной системой предприятия.

При сравнении методов маркировки важно учитывать различия в затратах на внедрение и их эффективности. Для линейных штрих-кодов и QR-кодов часто бывает достаточно более дешевых печатных этикеток, но для считывания требуется непосредственное участие сотрудника. Технология RFID основана на электронных метках и специализированном оборудовании, что может увеличить первоначальные затраты на редактирование идентификации. В то же время автоматическое считывание позволяет уменьшить количество ручных действий при перемещении деталей между производственными площадками.

Другим важным методом сравнения является устойчивость технологии к условиям окружающей производственной среды. При использовании линейных штрих-кодов и QR-кодов очень важны качество используемого изображения, уровень загрязнения поверхности и доступ к маркировке. В случае с RFID преимущество заключается в том, что нет необходимости в прямой видимости метки, но надежность считывания определяется параметрами радиооборудования, компонентами продукта и расположением метки. Таким образом, ни один из рассмотренных методов не соответствует всем критериям в полной мере, и выбор технологии определяется конкретными условиями ее применения.

Из сравнения видно, что все три технологии подходят для идентификации деталей, но различаются по параметрам применения.

Линейный штрих-код привлекает своей низкой стоимостью, но требует прямой видимости этикетки и полная производительность сотрудников при каждом его считывании. QR-код также требует распознавания, но позволяет вводить большой объем данных и иметь методы исправления ошибок. RFID облегчает обучение без прямой видимости и не полной автоматизацию учета, но имеет более сложную основу и в большей степени зависит от успешного размещения оборудования.

При всех рассмотренных подходах полная цифровой истории зависит не только от метки, но и от того, как текущая информация о последовательности сведений о операции над деталью поступает в информационную систему.

С учетом критериев, учитываемых в условиях ручной сборки, когда детали регистрируются рабочими и не требуется полная автоматизация считывания, код QR представляется наиболее подходящим решением. Он сочетает в себе относительно низкие затраты на внедрение, возможность использования обычным рабочим и достаточную информацию для размещения идентификатора или ссылки на цифровую запись. Однако выбор этой метки не устраняет проблему человеческого фактора, как необходимо учитывать удобную процедуру сканирования и обязательную регистрацию выполненных операций.

Несмотря на эти преимущества, использование кодов QR имеет определенные ограничения. При организации ручной сборки необходимо учитывать расположение маркировки, вероятность повреждения маркировки в процессе обработки детали и ее читаемость.

Кроме того, эффективность данной технологии определяется строгим соблюдением сотрудниками установленной процедуры регистрации операции. Поэтому, вместе с внедрением кодов QR должны быть установлены правила маркировки и порядок действий сотрудников при работе с информационной системой.

IV. Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что QR-код является наиболее рациональным способом маркировки для рассматриваемых условий ручного производства. Его использование позволяет организовать идентификацию деталей и обеспечить доступ к их цифровым записям без существенных затрат на внедрение сложного оборудования.

Технология RFID может быть более подходящей, если требуется высокая степень автоматизации, однако для рассматриваемой задачи ее дополнительные возможности не всегда оправдывают затраты.

Перспективной областью дальнейших исследований является практическая оценка использования QR-кодов в реальном производственном процессе.

С этой целью можно провести экспериментальное сравнение времени идентификации деталей, количества ошибок чтения и полноты записи технологических операций с использованием различных методов маркировки. Полученные результаты позволят уточнить полученные выводы и определить условия, при которых использование QR-кодов является наиболее эффективным.

Список литературы

[1] Интеграция систем визуализации в организацию производства изделий, где преобладает ручной труд [Электронный ресурс]. URL: https://library.bmstu.ru/DigitalResources/Download/92212 (дата обращения: 28.10.2026).

[2] Балашов А.М. Цифровизация и использование искусственного интеллекта в производственных процессах современных предприятий // Теоретическая экономика. 2024. № 11. С. 34–41. (дата обращения: 28.10.2026).

[3] Vilas Boas L., Faria J. M., Dillen J., Figueiredo J., Cardoso L., Borges J., Moreira A. H. J. Resilient Assembly Supervision: A Synthetic-to-Real Semantic Twin Pipeline for Data-Efficient Operator Guidance // Digital. 2026. Vol. 6. No. 2. Art. 39. (дата обращения: 28.10.2026).

[4] Провоторов А.В., Астафьев А.В. Системный анализ технологий идентификации продукции в условиях промышленного производства // Системный анализ в науке и образовании. 2021. № 1. С. 85–91. URL: https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/412/369 (дата обращения: 01.11.2026).

[5] ГОСТ Р ИСО/МЭК 18004-2015. Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода QR Code. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200121043 (дата обращения: 08.11.2026).

[6] Зиннуров Р.Р., Розенцвайг А.К., Исавнин А.Г., Карамышев А.Н., Еремина И.И. Использование RFID-технологии для удаленного отслеживания процесса производства продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 1. С. 35–40. DOI: 10.17513/mjpfi.13170. URL: https://applied-research.ru/article/view?id=13170 (дата обращения: 08.11.2026).

[7] Камозин Д.Ю. Сравнение эффективности применения технологии штрихового кодирования и технологии RFID в логистических процессах // Известия Байкальского государственного университета. 2013. № 3 (89). С. 71–75. (дата обращения: 08.11.2026).