

**УДК 625.11:004.9**

**МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ СКВОЗНОЙ  
ЦИФРОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
РЕСУРСОВ В СТРУКТУРЕ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Мухамедьяров Айдар Амирович**  
Председатель ревизионной комиссии  
«Экспертно-методический центр  
строительного контроля и управления  
строительством Красноярского края» (ЭМЦ СК)

**Аннотация**

В статье представлено комплексное исследование по созданию системы инструментальной верификации качества материалов и конструкций при строительстве и реконструкции железнодорожных путей. Автором разработана методология перехода от дискретной бумажной фиксации данных к непрерывному мониторингу жизненного цикла материально-технических ресурсов. В работе детально обоснованы параметры применения двумерного матричного кодирования методом лазерной абляции для металлоконструкций и радиочастотной идентификации для железобетонных изделий. Описана архитектура интеграции физических идентификаторов с информационными моделями объектов (ТИМ), позволяющая автоматизировать входной и операционный контроль. Предложенный подход обеспечивает юридическую неоспоримость исполнительной документации и создает базу для предиктивного управления объектами на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: строительный контроль, железнодорожная инфраструктура, входной контроль, радиочастотная идентификация, двумерный матричный код, технологии информационного моделирования, прослеживаемость ресурсов, ОАО «РЖД», предиктивная эксплуатация.

## **1. Стратегические предпосылки цифровизации входного контроля**

Развитие железнодорожной сети Российской Федерации, включая расширение Восточного полигона (БАМ-2, Транссиб) и реализацию проектов высокоскоростных магистралей (ВСМ), требует перехода к бескомпромиссным стандартам строительного контроля. Железнодорожный путь функционирует в режиме экстремальных динамических воздействий, где дефект любого конструктивного элемента (рельса, скрепления, опоры) ведет к катастрофическим последствиям и значительным экономическим потерям.

Существующая практика контроля, опирающаяся на верификацию бумажных копий сертификатов и паспортов, в 2024–2025 гг. проявляет технологическую избыточность и недостаточную надежность. Основной проблемой является «информационный разрыв» — отсутствие физической неразрывной связи между документом о качестве и конкретной единицей изделия. Это порождает риски применения контрафактной продукции, некондиционных материалов и ресурсов повторного использования. Решением данной проблемы является формирование системы сквозной цифровой идентификации, которая превращает каждое изделие в активный элемент цифрового пространства.

## **2. Инженерные методы инструментальной маркировки ресурсов**

Для обеспечения достоверности данных предлагается дифференцированный подход к физической идентификации материалов, учитывающий их физико-химические свойства и условия эксплуатации.

## 2.1. Прямое лазерное кодирование высоконагруженных металлоконструкций

Для рельсовой продукции (Р65 и выше), стрелочных переводов и элементов контактной сети наиболее эффективным методом является нанесение двумерного матричного кода методом лазерной абляции.

Технический регламент: код наносится на шейку рельса в зонах с минимальными концентраторами напряжений. Глубина гравировки составляет 0,15–0,25 мм, что достаточно для идентификации сканером даже при наличии слоя коррозии или технологической окраски и при этом не влияет на усталостную прочность металла.

Функционал контроля: инспектор строительного контроля при первичной приемке считывает код, получая мгновенный доступ к «цифровому паспорту» плавки в базе данных завода-изготовителя. Система автоматически сверяет результаты ультразвуковой дефектоскопии и химический состав стали с проектными требованиями, а любое несоответствие блокирует подписание акта входного контроля на программном уровне.

## 2.2. Радиочастотная идентификация скрытых и массивных конструкций

Для железобетонных изделий (шпалы, опоры, пролетные строения мостов) предложено использование пассивных систем радиочастотной идентификации (УВЧ-диапазон).

Инженерное решение: электронная метка в антивандальном полимерном корпусе интегрируется в структуру арматурного каркаса перед заливкой бетона. Глубина залегания под защитным слоем (25–45 мм) определяется исходя из условий устойчивого прохождения радиосигнала и защиты от механических повреждений при виброуплотнении бетона.

Функционал контроля: считывание данных производится бесконтактным способом с расстояния до 5–7 метров. Это позволяет инспектору верифицировать марку бетона по морозостойкости и прочности, а также дату набора проектной прочности даже тогда, когда опора уже установлена или фундамент частично скрыт в земляном полотне. Такая схема формирует неоспоримую доказательную базу при освидетельствовании скрытых работ.

### **3. Интеграция идентификаторов в среду информационного моделирования (ТИМ)**

Ключевым преимуществом методологии является бесшовная связка «идентификатор — информационная модель — исполнительная документация».

Автоматизация операционного контроля. При монтаже элемента (например, установке опоры контактной сети) считанный идентификатор автоматически привязывает изделие к географическим координатам (ГЛОНАСС) и конкретному пикету в цифровом двойнике объекта.

Электронная исполнительная документация. Информация о фактическом использовании материала транслируется в электронный общий журнал работ. Акты освидетельствования скрытых работ (АОСР) формируются автоматически с включением ссылок на идентификаторы всех использованных материалов. В соответствии с Приказом Минстроя России № 1026/пр такая форма ведения документации является приоритетной и минимизирует риск фальсификации данных «задним числом».

Коллизионный анализ. Программный комплекс строительного контроля в режиме реального времени проверяет соответствие фактически установленных рельсов, шпал и иных элементов проектной спецификации. При несовпадении

параметров система выдает предписание об устранении нарушения до начала следующего этапа работ.

#### **4. Юридическая значимость и предиктивный анализ жизненного цикла**

Внедрение сквозной идентификации создает юридически защищенную среду ответственности всех участников инвестиционно-строительного процесса, опирающуюся, в том числе, на положения статьи 754 Гражданского кодекса Российской Федерации. Цифровой след изделия позволяет точно установить виновную сторону в случае отказа инфраструктуры: производственный брак завода, нарушение технологии монтажа подрядчиком или ненадлежащее исполнение обязанностей инспектором строительного контроля.

В долгосрочной перспективе наличие базы данных идентификаторов всех элементов пути позволяет ОАО «РЖД» перейти к предиктивной модели эксплуатации. На основе данных об исходном качестве материалов и накопленном тоннаже система моделирует скорость деградации конструктивных элементов, что дает возможность планировать ремонты до наступления аварийных ситуаций и оптимизировать затраты на содержание инфраструктуры.

#### **5. Ограничения и перспективы развития системы сквозной идентификации**

##### **5.1. Ограничения исходных данных и технической инфраструктуры**

Основным ограничением для внедрения системы сквозной идентификации является качество и полнота исходных данных, а также готовность инфраструктуры к их приему и обработке. Если сведения о материалах и изделиях ведутся

несистемно, хранятся в разрозненных информационных системах и не синхронизированы с фактическим ходом строительных работ, то возможности цифровой идентификации будут реализованы лишь частично. Дополнительным фактором риска является отсутствие унифицированных отраслевых справочников, классификаторов и форматов обмена данными между участниками строительства и эксплуатирующими организациями.<sup>[1]</sup>

Еще одним ограничением выступают технические особенности применения идентификаторов в жестких климатических и производственных условиях. Для радиочастотных меток критичным является соблюдение требований к глубине залегания, ориентации антенны и электромагнитной совместимости с соседними элементами, а для лазерной маркировки — устойчивость к коррозии, механическому износу и ремонтным операциям.

## 5.2. Организационно-правовые и нормативные барьеры

Существенную роль играют организационно-правовые аспекты внедрения системы. Для широкого применения сквозной идентификации требуется закрепление соответствующих требований в отраслевых стандартах ОАО «РЖД», сводах правил и ведомственных регламентах строительного контроля. Отсутствие прямых норм, обязывающих применять идентификаторы как элемент обязательной прослеживаемости, приводит к тому, что методология остается на уровне пилотных проектов и локальных инициатив.

Важным условием является также распределение ответственности за ведение и актуализацию цифрового следа изделия. Необходимо нормативно определить, какие именно участники процесса строительства и эксплуатации обязаны выполнять операции по первичной регистрации, обновлению и архивированию данных, а также в каком объеме эти сведения должны передаваться в информационные системы эксплуатирующей организации.

### 5.3. Перспективы стандартизации и интеграции с предиктивными моделями

Перспективным направлением развития является создание типовых цифровых структур данных и регламентов взаимодействия для всех участников строительного контроля, что позволит формировать единые отраслевые массивы наблюдений. На этой основе могут быть разработаны стандартные профили идентификации для различных типов изделий (рельсы, шпалы, опоры, металлоконструкции мостов и т.п.) с заданным составом обязательных атрибутов и форматов обмена информацией.<sup>[1]</sup>

Дополнительный научный и практический интерес представляет интеграция системы сквозной идентификации с моделями предиктивной аналитики, учитывающими не только исходные свойства материалов, но и реальные условия эксплуатации, интенсивность движения, климатические факторы и историю ремонтных воздействий. Сравнение результатов прогнозов, построенных на данных традиционной диагностики, с моделями, опирающимися на полный цифровой след изделия, позволит количественно оценить вклад исходного качества и технологии монтажа в надежность железнодорожной инфраструктуры.<sup>[1]</sup>

## Заключение

Методология сквозной цифровой идентификации материально-технических ресурсов является фундаментом для перехода к интеллектуальному строительству и риск-ориентированному строительному контролю на объектах железнодорожной инфраструктуры. Интеграция двумерного кодирования и радиочастотных меток в единый контур информационного моделирования и электронной исполнительной документации позволяет исключить субъективизм при приемке работ, автоматизировать входной и операционный контроль и обеспечить высокий уровень прослеживаемости ресурсов на всем жизненном цикле объекта.

Формирование цифрового следа каждого значимого элемента пути повышает юридическую защищенность участников строительства, создает условия для точного установления причин дефектов и отказов, а также открывает возможности для внедрения предиктивных моделей эксплуатации. При этом учет ограничений исходных данных, технических и нормативных барьеров, а также развитие отраслевой стандартизации являются необходимыми условиями успешного масштабирования предложенного подхода. В этих условиях система сквозной идентификации рассматривается как ключевой элемент цифровой трансформации строительного контроля и управления качеством в сфере железнодорожного строительства.