

Верификация методов неразрушающего контроля (магнитного, визуально-измерительного, ультразвукового) для оценки состояния металла ригелей

Verification of non-destructive testing methods (magnetic, visual and measurement, ultrasonic) for assessing the condition of crossbar metal

УДК 620.179.1

Получено: 22.01.2026

Одобрено: 24.02.2026

Опубликовано: 25.03.2026

Паранин А.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение транспорта», ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург
e-mail: AParanin@usurt.ru

Paranin A.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Electricity supply of transport», Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg
e-mail: AParanin@usurt.ru

Щетина Н.Ю.

Аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург

Shchetina N.Yu.

Postgraduate student, Ural State Transport University, Yekaterinburg

Аннотация

Рассмотрены актуальные проблемы неразрушающего контроля состояния металла ригелей, эксплуатирующихся в составе контактной подвески железнодорожного транспорта, порталов тяговых подстанций, каркасов зданий, мостов и крановых эстакад. Проведена верификация трёх наиболее распространённых методов контроля: визуально-измерительного, ультразвукового и магнитного. Определены достоверность выявления основных видов дефектов и ограничения каждого метода. Предложена трёхуровневая система верификации, обеспечивающая максимальную достоверность диагностики.

Ключевые слова: верификация, неразрушающий контроль, ригели, ультразвуковой контроль, магнитопорошковый контроль, визуально-измерительный контроль, коррозия, усталостные трещины.

Abstract

The urgent problems of non-destructive testing of the metal condition of crossbars operating as part of the railway contact suspension, portals of traction substations, building frames, bridges and crane trestles are considered. Verification of three most common control methods — visual and measuring, ultrasonic and magnetic — is carried out. The reliability of detecting the main types of defects and the limitations of each method are determined. A three-level verification system is proposed to ensure maximum diagnostic reliability.

Keywords: verification, non-destructive testing, crossbars, ultrasonic testing, magnetic particle testing, visual and measurement testing, corrosion, fatigue cracks.

Ригели в составе контактной подвески железнодорожного транспорта, порталов на тяговых подстанциях, каркасов зданий, мостов и крановых эстакад работают в условиях сложного напряжённо-деформированного состояния. Они подвержены знакопеременным нагрузкам, воздействию окружающей среды, а в ряде случаев – агрессивных сред. Основными видами дефектов, приводящих к потере несущей способности, являются:

- усталостные трещины, возникающие в зонах концентрации напряжений (сварные швы, места резкого изменения сечения);
- коррозионный износ – общее и местное (питтинговое) утонение стенок и полок, снижающее площадь сечения.

Для своевременного выявления этих дефектов применяются различные методы неразрушающего контроля. Однако каждый метод имеет ограничения по чувствительности, условиям применения и достоверности результатов. В рамках данной работы проведена верификация (оценка достоверности) трёх наиболее распространённых методов применительно к реальным условиям эксплуатации ригелей.

1. Визуально-измерительный контроль (ВИК)

Визуально-измерительный контроль является первым и обязательным этапом диагностики металлоконструкций. Его проведение регламентируется ГОСТ Р 56542–2015 «Контроль неразрушающий. Термины и определения» и отраслевыми нормами [1,7].

Применимость к ригелям. ВИК позволяет выявить поверхностные дефекты: значительные коррозионные поражения, видимые трещины раскрытием более 0,1–0,2 мм (при использовании лупы), деформации (прогибы, искривления), дефекты сварных швов (подрезы, наплывы).

Эффективность. Достоинства метода: оперативность, низкая стоимость, возможность оценки общего состояния и геометрии (провисание ригеля). Недостатки: низкая чувствительность к начальным стадиям дефектов. Трещины, сомкнутые под нагрузкой, или подповерхностная коррозия визуально не обнаруживаются. Результативность сильно зависит от квалификации дефектоскописта и доступа к конструкции (наличие окраски, труднодоступные зоны узлов опирания).

Верификация. Для ригелей ВИК достоверен лишь на 30–40% для выявления критических трещин. Он незаменим для выбраковки элементов с явной потерей геометрии, но как самостоятельный метод для оценки остаточного ресурса недостаточен.

2. Ультразвуковой контроль (УЗК)

Ультразвуковой контроль основан на способности высокочастотных упругих колебаний проникать в толщу металла и отражаться от границ раздела сред, в том числе от дефектов. Используются эхо-метод, теневой метод и метод зеркального отражения [6]. Основные требования регламентированы ГОСТ Р 55724–2013 «Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие требования» [2].

Применимость к ригелям.

- Поиск трещин: метод эффективен для выявления как поверхностных, так и внутренних трещин (например, в шейке двутавра или в зоне сварного шва). Особенно ценен для обнаружения трещин, развивающихся от корня шва.

- Измерение толщины: ультразвуковая толщинометрия – основной способ картирования коррозионного износа. Позволяет построить карту остаточных толщин полок и стенки по всей длине ригеля, выявить локальные язвы коррозии.

Эффективность. Преимущества: высокая точность локации дефекта, возможность определения координат и условных размеров трещины, пригодность для толстостенных элементов. Недостатки: сложность проведения на ригелях с рёбрами жёсткости (из-за множественных отражений), необходимость тщательной подготовки поверхности (зачистка от краски и грязи). Выявление трещин малого раскрытия (менее 0,5 мм) и ориентированных параллельно направлению луча затруднено.

Верификация. Верификация УЗК на тест-образцах с реальными усталостными трещинами показывает достоверность до 85–90% при условии квалифицированного сканирования. Метод является «золотым стандартом» для измерения остаточной толщины металла после коррозии.

3. Магнитный контроль (магнитопорошковый и магнитометрический)

Магнитные методы основаны на анализе полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на измерении магнитных характеристик стали [5]. Основные положения регламентированы ГОСТ Р 56512–2015 «Контроль неразрушающий. Методы магнитные. Общие требования» [3].

Применимость к ригелям.

- Магнитопорошковый метод (МПК) применим только для сталей с ферромагнитными свойствами (обычные углеродистые стали ригелей). Он используется для выявления поверхностных и подповерхностных (на глубине до 2 мм) трещин. На намагниченный участок наносят суспензию с ферромагнитным порошком, который скапливается в зоне дефекта.

- Магнитометрический контроль (контроль напряжений) позволяет косвенно оценивать напряжённо-деформированное состояние по изменению магнитных свойств (эффект Баркгаузена), что даёт возможность выявлять зоны перегрузок металла до появления трещин.

Эффективность. Преимущества: очень высокая чувствительность к тонким поверхностным трещинам (шириной в микрометры). МПК позволяет обнаруживать волосовины и трещины, невидимые даже в лупу; наглядность результата. Недостатки: метод работает только на чистых поверхностях (толстый слой краски недопустим), не выявляет внутренние дефекты. После контроля требуется размагничивание. Применим только для ограниченных зон (сварные швы, концентраторы напряжений).

Верификация. Для ригелей МПК является наиболее достоверным методом (до 95–98%) для подтверждения наличия поверхностной трещины, выявленной другими методами (ВИК или УЗК), особенно в сварных швах и околошовной зоне.

4. Сравнительный анализ эффективности методов

Для наглядности методы сопоставлены по ключевым критериям применительно к ригелям (табл. 1).

Сравнительная оценка методов неразрушающего контроля для диагностики стальных ригелей

Критерий/ тип дефекта	Визуально- измерительный (ВИК)	Ультразвуковой (УЗК)	Магнитопорошковый (МПК)
Коррозия общая	Высокая (визуально + шаблоны)	Высокая (точные замеры толщины)	Не применяется
Коррозия питтинговая / язвы	Средняя (только крупные язвы)	Высокая (при сканировании)	Средняя (только на поверхности)
Трещины поверхностные	Низкая (только раскрытые)	Средняя (зависит от ориентации)	Высокая (эталон)
Трещины внутренние	Отсутствует	Высокая	Отсутствует
Зоны перенапряжения	Отсутствует	Разработка методик	Средняя (магнитометрия)
Необходимость доступа	Односторонний	Односторонний (для эхо-метода)	Двусторонний (для намагничивания)

На рис. 1 представлены результаты верификации методов НК по критерию достоверности выявления поверхностных трещин и коррозионного износа. Наибольшая достоверность при обнаружении поверхностных трещин достигается магнитопорошковым методом (до 97%), тогда как для оценки коррозионного износа наиболее информативен ультразвуковой контроль (до 93%).

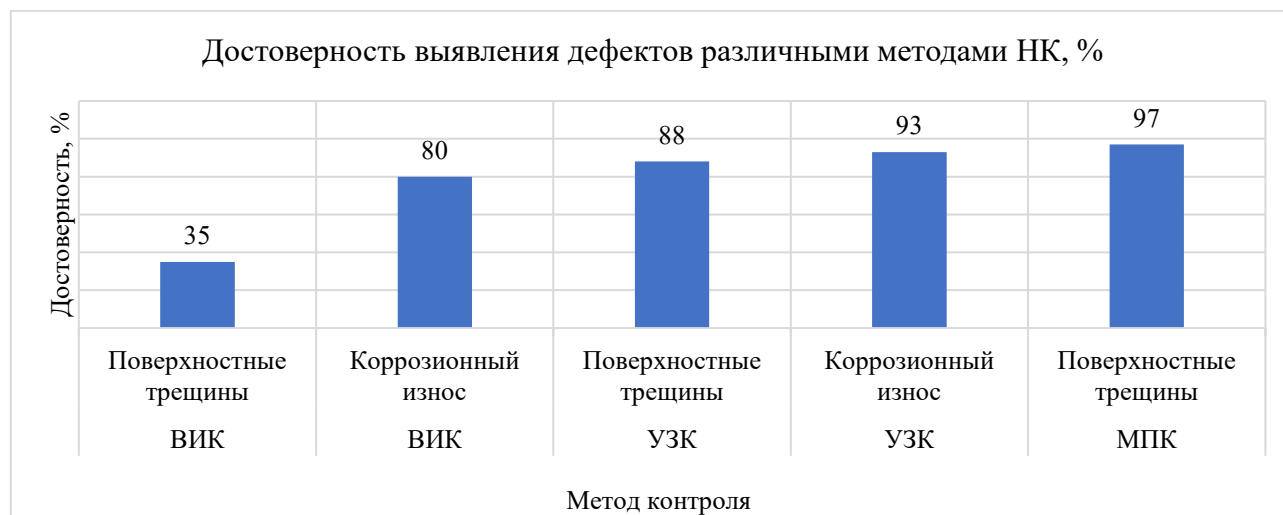


Рис. 1. Достоверность выявления дефектов различными методами неразрушающего контроля

5. Выводы и рекомендации по верификации

Верификация методов неразрушающего контроля для оценки состояния металла ригелей показывает, что ни один из методов не является универсальным. Максимальная достоверность достигается при их комплексном применении:

1. Визуально-измерительный контроль выполняет функцию первичной отбраковки и общей оценки. Он обязателен, но требует последующей верификации инструментальными методами.

2. Ультразвуковой контроль является основным для количественной оценки деградации металла. Согласно данным справочной литературы [4], достоверность УЗК при выявлении внутренних дефектов достигает 85–90% при условии квалифицированного сканирования. Он верифицирует коррозионный износ (замеры толщины) и подтверждает наличие объёмных внутренних дефектов. УЗК следует применять, в первую очередь, в зонах вероятного коррозионного износа (нижние пояса, опорные зоны).

3. Магнитный контроль (МПК) выступает в роли арбитражного метода при подозрении на усталостные трещины. Если ВИК или УЗК показали наличие поверхностного дефекта в сварном шве или зоне концентратора напряжений (например, у отверстия), применение МПК обязательно для окончательной верификации (подтверждения) факта трещины.

Таким образом, для достоверной оценки состояния металла ригелей необходимо использовать трёхуровневую систему: ВИК (обзор) → УЗК (измерение геометрии и поиск глубоких дефектов) → МПК (верификация поверхностных трещин).

Только такой подход позволяет минимизировать риск пропуска критических повреждений и обеспечить безопасную эксплуатацию конструкций. Предлагаемый алгоритм верификации рис. 2 позволяет последовательно применять методы контроля, исключая дублирование и повышая достоверность диагностики.

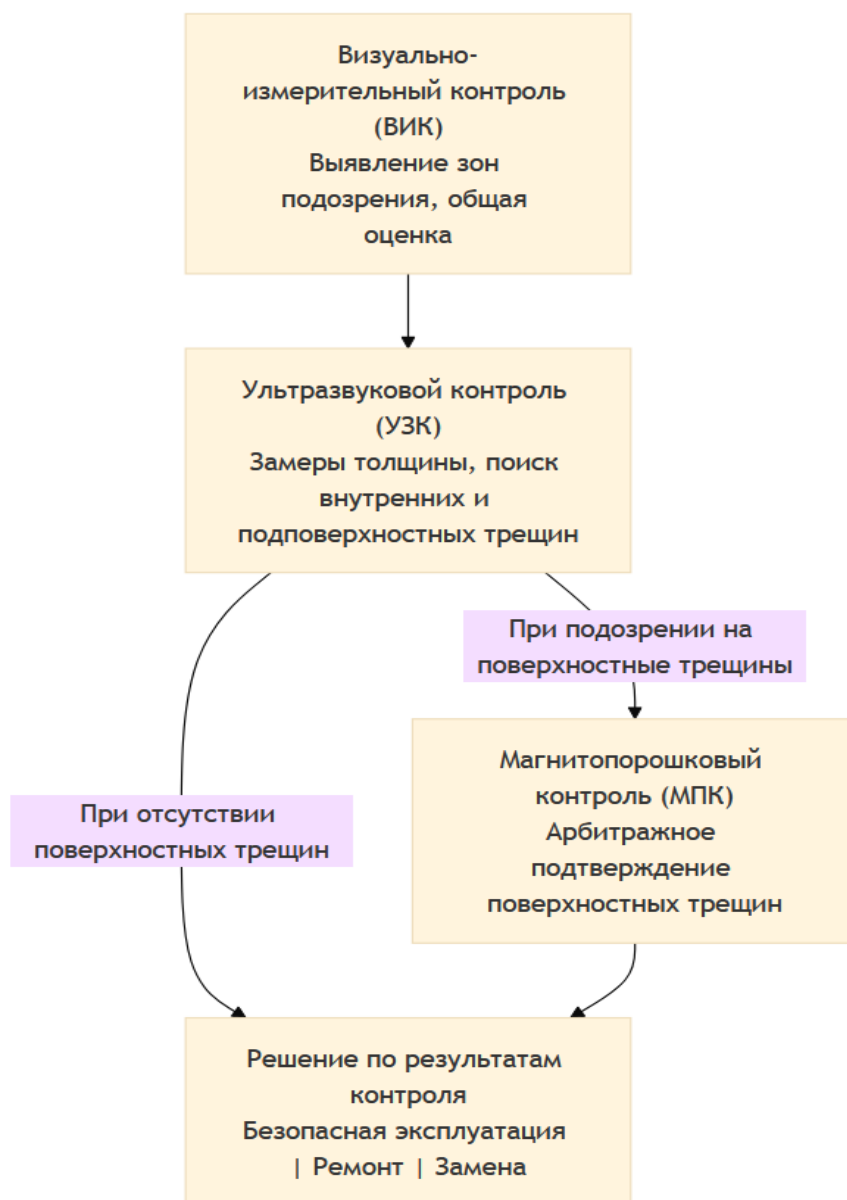


Рис. 2. Трёхуровневая система верификации состояния металла ригелей

Литература

1. ГОСТ Р 56542–2015. Контроль неразрушающий. Термины и определения = Non-destructive testing. Terms and definitions: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2015 г. № 1375-ст: дата введения 2016–09–01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 16 с. – Текст: непосредственный.
2. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – Москва: Госгортехнадзор России, 2003. – 48 с. – Текст: непосредственный.
3. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль: теория и практика. – Москва: Издательский дом МИСиС, 2019. – 498 с. – ISBN 978-5-907061-34-3. – Текст: непосредственный.
4. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие требования = Non-destructive testing. Acoustic methods. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1976-ст: дата введения 2014–09–01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с. – Текст: непосредственный.
5. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., испр. – Москва: Машиностроение, 2006. – Т. 2: Акустические методы контроля. – 864 с. – ISBN 5-217-00865-1. – Текст: непосредственный.
6. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. – Москва: Машиностроение, 2004. – Т. 6: Магнитные методы контроля. – 832 с. – ISBN 5-217-00869-4. – Текст: непосредственный.
7. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Методы магнитные. Общие требования = Non-destructive testing. Magnetic methods. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2015 г. № 1377-ст: дата введения 2016–09–01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 24 с. – Текст: непосредственный.