

Д.И. Школина¹, С.А. Бехер¹

¹ Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Аннотация: В статье рассматривается возможность применения методов математической статистики для проведения непрерывного мониторинга процессов неразрушающего контроля в вагонных ремонтных депо. Выполнен статистический анализ результатов магнитопорошкового контроля неномерных деталей. Выявлены закономерности распределения результатов контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, статистический анализ, частота браковки деталей, мониторинг, организация производства.

D.I. Shkolina¹, S.A. Bekher¹

¹ Siberian State Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING STATISTICAL ANALYSIS FOR MONITORING OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL UNITS

Abstract. The article considers the possibility of using mathematical statistics methods to conduct continuous monitoring of non-destructive testing processes in car repair depots. Statistical analysis of results of magnetic powder control of non-measuring parts was performed. Regularities of control results distribution are revealed.

Keywords: non-destructive testing, statistical analysis, part failure rate, monitoring, organization of production.

Введение

Организация надежной и безопасной эксплуатации подвижного состава напрямую зависит от эффективности и достоверности неразрушающего контроля (НК) деталей и узлов при проведении плановых видов ремонтов. Для обеспечения постоянного мониторинга подразделений НК разрабатываются и применяются программные средства, направленные на сбор и управление информацией, а для анализа и обработки используются критерии, основанные на методах математической статистики [5].

Проблема оценки достоверности результатов НК является актуальной. В настоящий момент в различных отраслях промышленности разрабатываются теории о принадлежности результатов контроля к статистическим законам распределения, на основе которых проводится оценка вероятности выявления дефектов и разрушения объекта контроля [3].

Целью исследования является оценка деятельности подразделений НК в вагоноремонтном комплексе на основе статистического анализа результатов магнитопорошкового контроля неномерных деталей грузовых вагонов.

Анализ результатов

В вагонной ремонтной компании, которая имеет в своем составе 42 структурных подразделения, функционирует программное обеспечение, направленное на сбор, хранение и управление основными данными о функционировании подразделений НК, которое позволяет по запросу формировать отчет о деятельности, а также информирует высшее руководство депо и технический отдел о необходимости принятия управленческих решений по устранению несоответствий в системе НК отдельного депо и вагоноремонтного комплекса в целом. Основной целью мониторинга процесса НК является уменьшения доли продукции, несоответствующей требованиям на выходе производственного процесса. В качестве инструмента, позволяющего оценить эффективность НК предлагается использовать статистический анализ для определения принадлежности результатов теоретическому закону распределения.

Интерфейс модулей ввода результатов контроля в зависимости от типа проконтролированной детали отличается. Результаты контроля классифицируются по четырем основным направлениям: литые детали тележки грузового вагона (надрессорные балки и боковые рамы); детали автоматического сцепного устройства (корпус, тяговый хомут), детали колесных пар (колесо, ось) и неномерные детали (маятниковая подвеска, клин тягового хомута и др.).

При добавлении данных о результате контроля пользователь программного обеспечения вводит информацию о проведенных работах и нажимает кнопку сохранить. Одним из параметров записи с результатами контроля является дата фактического проведения работ. Каждая запись с результатами содержит дополнительную информацию, которая сохраняется автоматически. Одним из параметров системной информации является дата и время сохранения записи с результатом контроля. Таким образом, появляется возможность для количественной оценки объема вводимой информации и проведенных работ. В идеальных условиях эти два значения должны ежедневно совпадать.

В рамках модели формирование и развитие усталостных дефектов носит случайный характер. Техническое состояние деталей характеризуется дискретной случайной величиной x , которая принимает значение $x = 0$ для бездефектных деталей и $x = 1$ для дефектных. Пренебрегая, на первом этапе, зависимостью величины p от региона, в котором расположено вагоноремонтное предприятие, ее значение может являться характеристикой детали и постоянной величиной во всех филиалах компании. В этом случае, количество бракованных деталей n из общего количества N деталей, на контроль описывается биномиальным распределением [2,4], при этом вероятность пропустить дефект при его наличии p зависит от соблюдения технологии неразрушающего контроля в вагонных ремонтных депо.

Процесс оценки технического состояния деталей – многоуровневый процесс и включает в себя три этапа: визуальный и измерительный контроль до НК для определения отклонения геометрических параметров деталей, визуальный осмотр (ВО) при НК, позволяющий обнаружить явные дефекты, и контроль средствами НК для выявления скрытых дефектов.

Процесс оценки технического состояния деталей состоит из нескольких операций, которые представлены совокупностью этапов с описанием использованных ресурсов. Процесс «Дефектация и неразрушающий контроль деталей грузовых вагонов» подразделяется на следующие этапы: осмотр детали и проведение дефектации по предельным отклонениям размеров, визуальный осмотр и проверка методами НК (рис. 1). Дефектация позволяет определить отклонения узлов и деталей вагонов по геометрическим параметрам от предельных размеров с применением шаблонов и контрольно-измерительного оборудования. По результатам первого этапа принимается решение о необходимости проведения НК. Второй этап – визуальный контроль позволяет выявлять видимые дефекты с использованием измерительных приборов. На этом этапе выявляются явные дефекты, которые не подлежат устранению. На третьем этапе проводится НК для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов, которые не были обнаружены при дефектации и визуальном контроле. По результатам проведенных проверок принимается решение о годности детали и возможности ее дальнейшей эксплуатации.

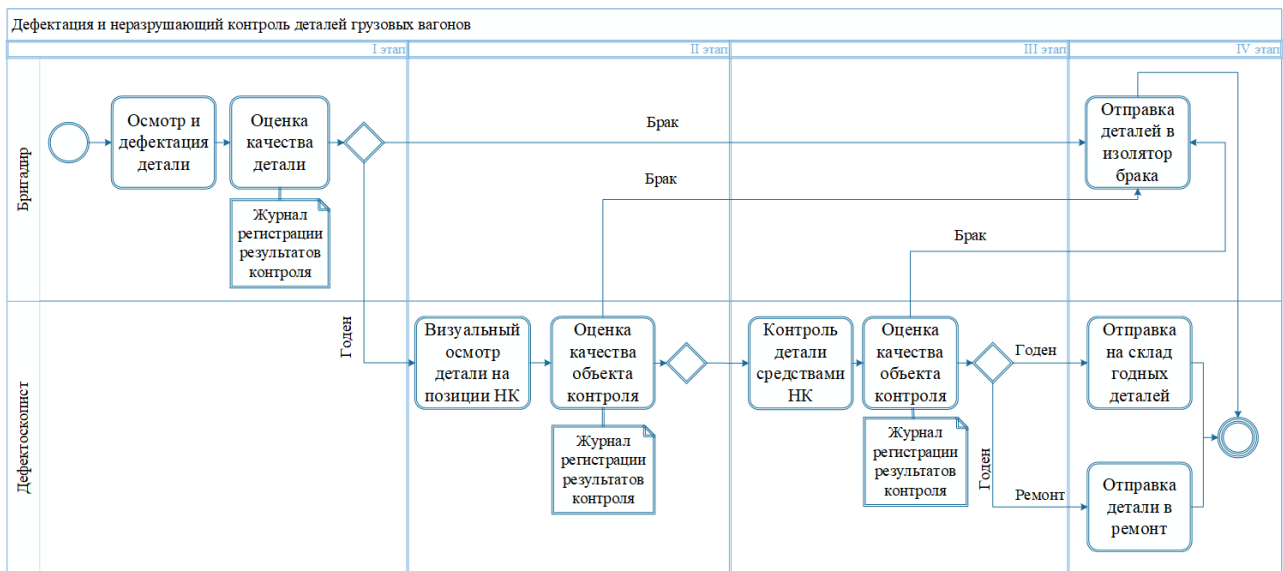


Рис. 1. Процесс «Дефектация и неразрушающий контроль деталей грузовых вагонов»

Ежегодно вагонной ремонтной компанией контролируется более 25 млн. деталей различного типа. В среднем магнитопорошковым методом 280 тыс. маятниковых подвесок, объемы контроля в структурных подразделениях сопоставимы и составляют от 5 до 10 тыс. деталей. Распределение результатов контроля технического состояния деталей приведено на рисунке 2. Относительное количество забракованных по результатам магнитопорошкового контроля маятниковых подвесок составляет 4 %.

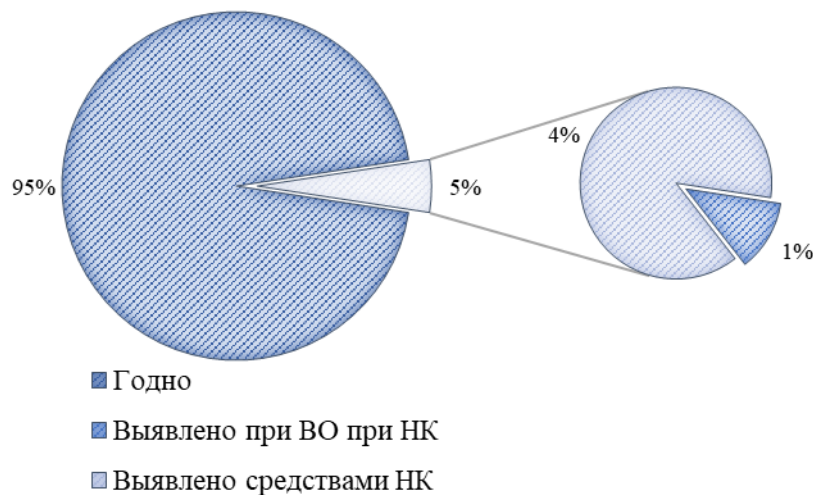


Рис. 2. Результаты неразрушающего контроля маятниковой подвески

Достоверность при проведении магнитопорошкового контроля в значительной степени зависит от квалификации дефектоскописта. Низкий уровень компетенции приводит к высокому уровню браковки годных деталей за счет ложной индикации (перебраковка), с другой стороны, нарушение технологии контроля – к пропуску дефектов (недобраковка) [1].

Для анализа отобрана статистическая информация за 12 месяцев 2020-2021 года о результатах магнитопорошкового контроля маятниковых подвесок. Контроль данных деталей производится способом приложенного поля с использованием магнитной суспензии на основе люминесцентного магнитного порошка LY1500 или цветного порошка МИНК-10. Среднее значение частоты браковки маятниковых подвесок по предприятиям компании равно $w_c = 4,45\%$, среднее квадратическое отклонение – $5,91\%$. Распределение подразделений по частоте браковки (рисунок 3, а) не описывается биномиальным распределением с уровнем значимости $\alpha = 5\%$, что свидетельствует о нарушении гипотезы о равной вероятности браковки p во всех структурных подразделениях.

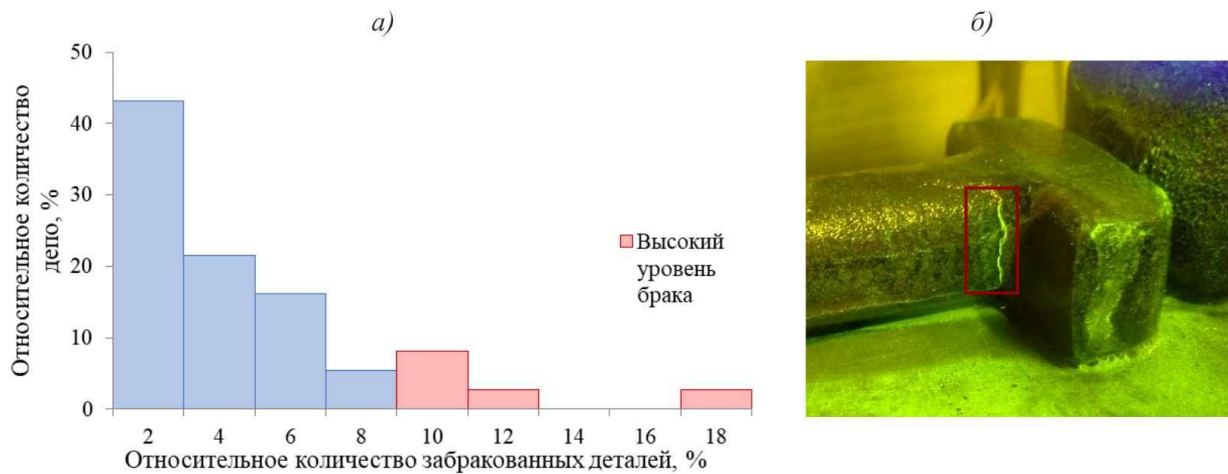


Рис. 3. Распределение структурных подразделений по относительному количеству забракованных деталей (а); внешний вид забракованной детали (б)

Распределение результатов забракованных деталей специалистов на предприятии с низким уровнем $w_1 = 1,71\%$ и высоким уровнем браковки $w_2 = 16,16\%$ с распределением ежесменных браковок приведены на рисунке 4 а, б и 4 в, г соответственно. Для специалиста с высокой частотой браковки форма распределений результатов контроля по частоте ближе биномиальному распределению и в соответствии с критерием Пирсона экспериментальные распределения частоты браковки дефектоскопистов принадлежат к биномиальному распределению. Отклонения от биномиального распределения связаны с разным количеством контролируемых за смену деталей.

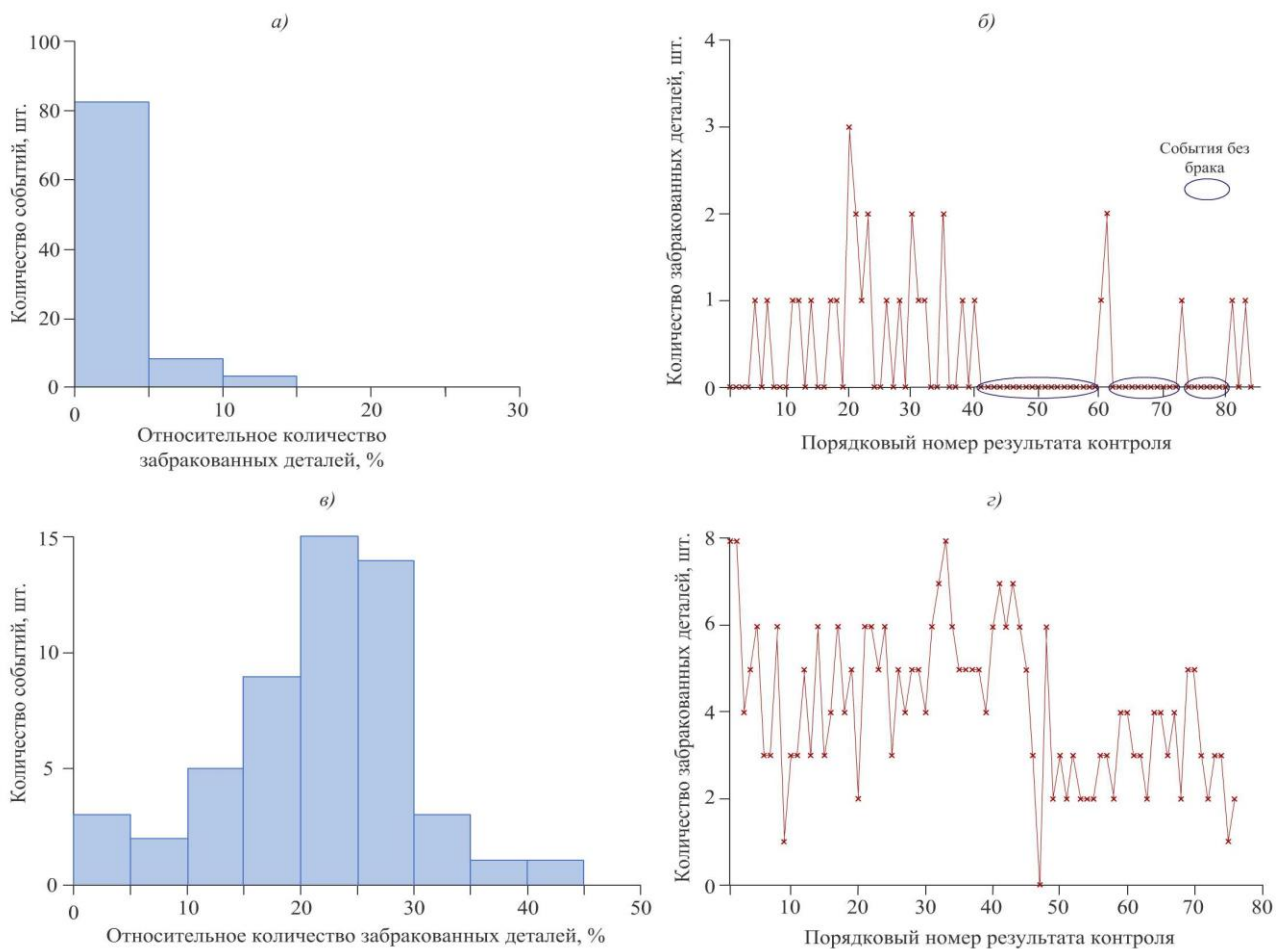


Рис.4. Распределение ежесменных результатов контроля по частотам браковки и количеству забракованных деталей для дефектоскопистов на предприятиях с низкой частотой браковки $w_1 = 1,71\%$ (а) и высокой средней частотой браковки $w_2 = 16,16\%$ (в)

В примере на рисунке 4, б причина отклонения от биномиального распределения обнаруживается при анализе зависимости количества забракованных за смену деталей. В интервалах от 41 до 60, от 62 до 73 и от 76 до 81 смены не было обнаружено ни одной забракованной детали, что может быть связано с нарушениями процедуры фиксации результатов контроля, заменой деталей на новые, отсутствием запасных частей и выполнением ремонта деталей с трещинами в нарушение требований технологической документации.

Заключение

Применение программного обеспечения и статистических методов анализа результатов НК открывает возможности для непрерывного мониторинга элементов процесса. Критерии оценки функционирования подразделений НК на вагоноремонтных предприятиях основываются на проверке принадлежности их к одному распределению и установлении корреляционной связи между результатами браковки деталей

Распределение структурных подразделений по проценту браковки маятниковых подвесок по критерию Пирсона с уровнем значимости $\alpha = 5\%$ удовлетворительно описывается экспоненциальным распределением с показателем $\lambda = 0,22\%$ и не принадлежит биномиальному распределению, что свидетельствует о нарушении гипотезы об одинаковых вероятностях браковки деталей.

Ежесменная частота браковки маятниковой подвески одним дефектоскопистом, зарегистрированная в течение 12 месяцев, удовлетворительно описывается биномиальным распределением. Этот эффект наблюдается как на предприятиях с высокой частотой браковки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дымкин, Г.Я. Основные положения межгосударственного стандарта ГОСТ 33514—2015 «Продукция железнодорожного назначения. Порядок верификации методик неразрушающего контроля» / Г.Я. Дымкин, В.Н. Коншина // Дефектоскопия. – 2017. – № 7. – С. 71-75.
2. Трофимец, Е.Н. Использование информационных технологий при исследовании параметров биномиального распределения / Е.Н. Трофимец // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – №11-8(67). – С. 211-214.
3. Calmon, P. Simulated probability of detection Maps in case of non-monotonic EC signal response / P. Calmon, F. Jenson, C. Reboud // AIP Conference Proceedings. – 2015. – № 1650 (1). – P. 1933-1939.
4. Janson, S. On the probability that a binomial variable is at most its expectation / S. Janson // Statistics & Probability Letters. – 2021. – № 171. – 109020.
5. Ponomarev, A.V. Digital technologies in non-destructive testing/ A.V. Ponomarev, O.V. Ponomareva// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 12038.

REFERENCES

1. Dymkin, G.Y. Main provisions of gost (intergovernmental standard) 33514–2015 "Railway-purpose production. verification of nondestructive testing procedures" / G.Y. Dymkin, V.N. Konshina // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2017. – № 7. – P. 539-543.
2. Trophimets, E. N. Use of information technologies in the study of parameters binomial distribution/ E. N. Trophimets// Current scientific research in the modern world. — 2020. – №11-8(67). – P. 211-214.
3. Calmon, P. Simulated probability of detection Maps in case of non-monotonic EC signal response / P. Calmon, F. Jenson, C. Reboud // AIP Conference Proceedings. – 2015. – № 1650 (1). – P. 1933-1939.
4. Janson, S. On the probability that a binomial variable is at most its expectation / S. Janson // Statistics & Probability Letters. – 2021. – № 171. – 109020.
5. Ponomarev, A.V. Digital technologies in non-destructive testing/ A.V. Ponomarev, O.V. Ponomareva// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 12038.

Информация об авторах

Школина Дарья Ивановна – аспирант кафедры «Электротехника, диагностика и сертификация», Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: dashashkolina@mail.ru

Бехер Сергей Алексеевич – д. т. н., доцент кафедры «Электротехника, диагностика и сертификация», Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: behers@mail.ru

Authors

Daria Ivanovna Shkolina – Graduate student, Chair «Electrical engineering, diagnostics and certification», Siberian State Transport University, Novosibirsk, e-mail: dashashkolina@mail.ru

Sergey Alekseevich Bekher – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Chair «Electrical engineering, diagnostics and certification», Siberian State Transport University, Novosibirsk, e-mail: behers@mail.ru