

ным институтам, так же возникают трудности в эксплуатации такого оборудования, необходимость в квалифицированных кадрах, требования по радиационной безопасности.

Таким образом, необходимо расширить диапазон воспроизведения и передачи значений мощности кермы в воздухе от $0,5 \cdot 10^{-12}$ до $6,0 \cdot 10^{-3}$ Гр/с и реализовать погрешность воспроизведения единицы мощности кермы в воздухе гамма-излучения не более 2 %, выполнение которых позволит повысить достоверность результатов измерений.

Литература

1. Дозиметрическая установка гамма-излучения УДГ-АТ110 // Atomtex: [сайт]. – URL: http://atomtex.com/sites/default/files/catalogue_ru.pdf (дата обращения: 20.12.2025).
2. Itsumasa, U. Systematics of Gamma-Ray Energy Spectra for Classification of Workplaces around a Nuclear Facility / U. Itsumasa, T. Tadashi // Japanese Journal of Health Physics. – 1988. – Vol. 3. – P. 1440–1443.
3. Rogers, D. O. A nearly mono-energetic 6–7 MeV photon calibration source / D. O. Rogers // Health Physics. – 1983. – Vol. 45, № 1. – P. 127–137.

УДК 620.179.14/15

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ СТРЕЛОК ПО ДАННЫМ МАГНИТОШУМОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Бусько В. Н.¹, Свибович И. В.², Бурдо М. В.²

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

²УП «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»

Минск, Беларусь

Аннотация. Оценка и неразрушающий контроль магнитных свойств магнитных стрелок, применяемых в различных электронно-измерительных, навигационных и геодезических приборах, относится к важным и актуальным задачам при обеспечении необходимой точности и проведении поверочных и профилактических работ. На примере двух экземпляров, используемых в ориентирах-буссолях магнитных стрелок, выполнены экспериментальные исследования возможности оценки их магнитных свойств с помощью относящегося к магнитным, метода эффекта Баркгаузена. Магнитные свойства оценивались путем сканирования накладным магнитошумовым преобразователем по длине и обеим сторонам стрелок и анализа данных. Установлены неоднородность магнитных свойств по длине магнитных стрелок с обеих сторон, их плечей и различие между образцами. Показана возможность применения данного метода и аппаратуры для контроля качества магнитных свойств магнитных стрелок.

Ключевые слова: магнитные свойства магнитных стрелок, компас, буссоль, неразрушающий контроль, магнитошумовой метод.

EVALUATION OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF THE MAGNETIC ARROWS OF DEVICES ACCORDING TO THE MAGNETO-NOISE CONTROL METHOD

Busko V. N.¹, Svibovich I. V.², Burdo M. V.²

¹Institute of Applied Physics of Belarus National Academy of Sciences

²Research and Development Unitary Enterprise “Research and Technical Centre «LEMT» BelOMO”

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Evaluation and non-destructive testing of the magnetic properties of magnetic arrows used in various electronic measuring, navigation and geodetic instruments is one of the important and urgent tasks in ensuring the necessary accuracy and carrying out verification and preventive maintenance. Using the example of two examples of magnetic arrows used in bussoli landmarks, experimental studies have been carried out on the possibility of evaluating their magnetic properties using the magnetic method of the Barkhausen effect. The magnetic properties were evaluated by scanning an overhead magneto-noise transducer along the length and both sides of the arrows and analyzing the data. Magnetic inhomogeneity along the length of the magnetic arrows on both sides and the difference between the samples are established. The possibility of using this method and equipment for quality control of magnetic properties of magnetic arrows is shown.

Keywords: magnetic properties magnetic arrows, compass, bussole, non-destructive testing, magneto-noise method technical

Адрес для переписки: Бусько В. Н., ул. Академическая, 16, Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: busko@iaph.bas-net.by

Входной и текущий неразрушающий контроль (НК) магнитных свойств магнитной стрелки различных электронно-измерительных, навигационных, геолого- и геодезических приборов с ориентиром-буссолью является необходимой процедурой. Так, проверка и текущий НК, к примеру, буссоли, является неотъемлемой мерой при/перед ее использовании. Это особо актуально там, где

необходимо получить высокую точность и достоверность определения азимута, которые, преимущественно, зависят от магнитных свойств стрелки.

Контроль магнитной стрелки, кроме визуальной оценки ее способности ориентироваться вдоль внешнего магнитного поля (к примеру, Земли) и фиксации данного направления,

отстройки от влияния мешающих внешних магнитных полей, включает периодический контроль ее собственных магнитных свойств. Магнитные свойства стрелки зависят от многих факторов, начиная от материала, из которого она изготовлена и заканчивая условиями эксплуатации, хранения, периодичности и качества обслуживания, учета влияния внешних электромагнитных полей, человеческого фактора и др.

Независимо от предназначения и задач прибора или устройства, где используется магнитная стрелка, ее магнитные свойства, влияющие на точность, во многом, зависят от ферромагнитного материала, из которого она изготовлена. Магнитные стрелки изготавливают из ферромагнитного (магнитомягкого, магнитотвердого) материала, или сплава на основе редкоземельных элементов, обладающего более стабильной во времени и максимальной магнитной энергией.

При оценке и изучении возможности применения магнитошумового метода для НК магнитных свойств стрелок использовались две магнитные стрелки длиной 76 мм, шириной 3 мм и толщиной 0,42–0,44 мм, полученные от УП «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО». Внешний вид обеих магнитных стрелок от буссоли показаны на рисунке 1.

В качестве метода оценки и контроля магнитных свойств использовался метод эффекта Баркгаузена (МЭБ) [1], относящийся к магнитным методам НК, который является универсальным, интегральным и высокочувствительным к изменению магнитных свойств благодаря связи с доменной структурой материала стрелки.

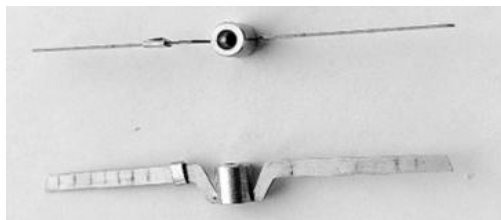


Рисунок 1 – Внешний вид используемых при исследовании магнитных стрелок

На магнитные свойства стрелки также влияют химический состав, качество изготовления (недопустимо наличие изгибов по длине), механические напряжения, технологическая и наведенная анизотропия, структурная неоднородность физико-механических свойств, магнитная индукция, магнитная проницаемость, напряженность поля, естественное старение, деградация (снижение основных свойств), уровень внешних магнитных полей, условия эксплуатации и хранения.

Измеряемым и информативным параметром оценки магнитных свойств (качества) магнитной стрелки являлась интенсивность (уровень) магнитного шума (МШ), равная среднеквадратичному значению ЭДС (в мВ, отн. ед.), измеряемая магнитошумовым анализатором типа ИМШ-1, принцип работы которого основан на реализации МЭБ [2; 1]. Использовались три типа накладных

преобразователей Баркгаузена (ПБ), отличающихся конструкцией, габаритами и техническими характеристиками.

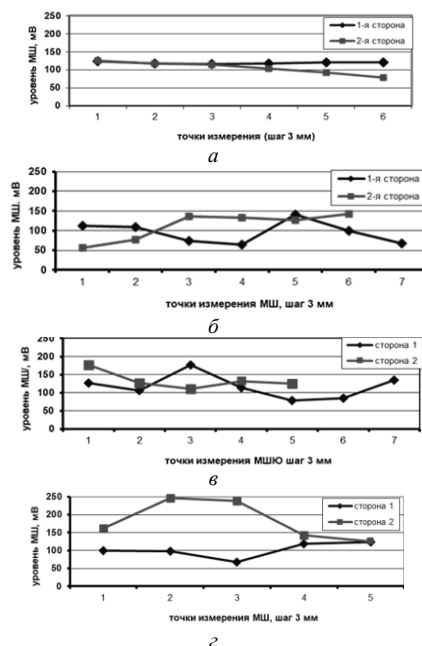


Рисунок 2 – Результаты сканирования ПБ по длине двух магнитных стрелок от буссолей для левого и правого плеча относительно центральной оси стрелок для обеих их сторон: а, б – стрелка № 1, сторона 1 и сторона 2 (обратная); в, г – стрелка № 2, сторона 1 и сторона 2 (обратная)

На рисунке 2, а – г для примера представлены экспериментальные зависимости уровня МШ при сканировании ПБ с высокой локальностью измерений МШ с шагом 3 мм по поверхности обеих сторон для двух магнитных стрелок для левого и правого плеча относительно их центра. Площадь S измерительной катушки этого ПБ составляла 2 мм², расстояние между полюсами магнитопровода намагничивающей обмотки 3 мм. Из анализа кривых зависимостей уровня МШ от координаты перемещения ПБ видно, что для обеих сторон левого плеча магнитные свойства стрелки № 1 (рисунок 2, а, б), по данным МЭБ, близки между собой. Для правого плеча стрелки № 1 уже наблюдается различие по ее длине и видна магнитная неоднородность. Для магнитной стрелки № 2 (рисунок 2, в, г) для левого плеча стрелки также наблюдается незначительная неоднородность магнитных свойств по длине их обеих сторон. В то же время для правого плеча этой стрелки между ее сторонами наблюдается существенное различие по уровню МШ и неоднородности, что недопустимо. Анализ причины показал, что геометрия плеча этой стрелки была нарушена вследствие изгиба ее части, что привело к росту напряжений растяжения, росту уровня МШ и неоднородности.

Таким образом, экспериментальным путем и на основе анализа данных четко выявлена неоднородность магнитных свойств по длине обеих

магнитных стрелок, зависимость уровня МШ от их сторон и существенная разница между обоими образцами, влияющими на их магнитные свойства. Для повышения чувствительности МЭБ к изменению и НК магнитных свойств стрелок необходимо применять ПБ с высокой локальностью измерений МШ. В этом случае МЭБ можно использовать при оценке и контроле магнитных свойств магнитных стрелок в любых измерительных и навигационных приборах.

УДК 658.562

FMEA КАК ИНСТРУМЕНТ ПОИСКА СКРЫТЫХ ПОТЕРЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ванцева М. С., Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается актуальная для белорусских предприятий задача системного выявления и устранения скрытых потерь в контексте реализации государственной политики повышения эффективности производства. Предлагается обоснование и применение адаптированной методологии FMEA в качестве основного аналитического инструмента для решения задачи поиска и количественной оценки не рисков, а операционных потерь.

Ключевые слова: бережливое производство, методика поиска скрытых потерь, FMEA.

THE RELEVANCE OF THE SCIENTIFIC DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF "LEAN MANUFACTURING" WITHIN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Vantsava M. S., Serenkov P.S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The article considers a task relevant for Belarusian enterprises of systemic identification and elimination of hidden losses in the context of implementation of state policy to increase production efficiency. It is proposed to use the adapted FMEA methodology as the main analytical tool for solving the task of finding and quantifying not risks, but operational losses.

Keywords: lean manufacturing, hidden waste analysis method, FMEA.

*Адрес для переписки: Фурс М. С. пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: mariya.sergeevna.furs@gmail.com*

Бережливое производство – это концепция управления бизнесом, основанная на постоянном стремлении к полному устранению всех видов потерь. Бережливое производство вовлекает всех сотрудников в процесс оптимизации бизнеса и делает акцент на клиентоориентированности. Эта концепция возникла на основе интерпретации американских исследователей, изучающих феномен производственной системы Toyota [1].

В. А. Каптурович под «бережливым производством» понимает сложный процесс, который базируется на собственной философии, ценностях и принципах [2].

О. М. Мещерякова считает, что «Бережливое производство» – концепция управления производственным предприятием, которая основана на постоянном стремлении предприятия к устранению всех видов потерь [3].

Несмотря на широкое распространение инструментов бережливого производства, сохраняется существенный методологический пробел в области идентификации и оценки неочевидных (скрытых) операционных потерь: в принципе отсутствует специализированный инструмент, позволяющий

осуществлять количественную оценку и сравнительное ранжирование различных видов потерь. Существующие подходы носят преимущественно описательный и качественный характер, выполняя функцию констатации факта наличия потерь, но не предоставляя механизма для их объективного сопоставления. Критически важная для обоснованного принятия управленческих решений задача определения количественного приоритета потерь с целью оптимального распределения ограниченных ресурсов на улучшения остается нерешенной. Данная проблема особенно актуальна в свете реализации государственной политики в области повышения эффективности, формализованной в Программе деятельности Правительства Республики Беларусь на 2025–2029 годы и новом национальном стандарте СТБ 2672-2025, который требует внедрения системного, а, следовательно, измеримого и верифицируемого подхода к управлению потерями.

Традиционные системы менеджмента рисков, к которым относится и широко применяемый анализ видов и последствий потенциальных отказов (FMEA), зачастую оказываются неэффективными для решения данной задачи.

Литература

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 26 с.
2. Бусько, В. Н. Методика механических испытаний и исследование возможности контроля усталостной прочности магнитошумовым методом стальных образцов, изготовленных по аддитивной технологии / В. Н. Бусько, А. П. Ничипурук, А. Н. Сташков // Контроль. Диагностика. – 2024. – Т. 27, № 4. – С. 54–63.