

## КРИТЕРИИ РАЗБРАКОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

**В.Ф. Калинин, В.М. Иванов, Е.А. Печагин,  
Д.Н. Лимонов, А.Н. Уваров**

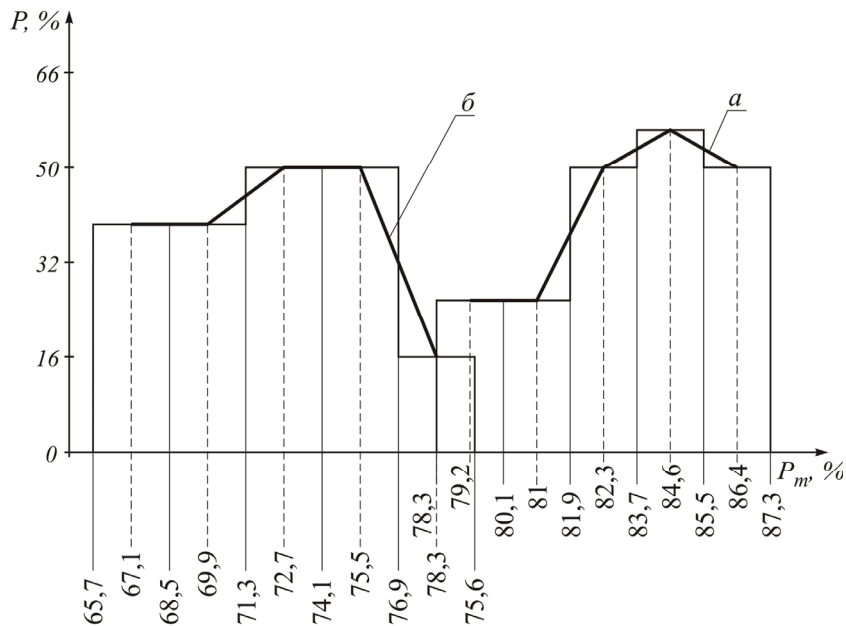
*Кафедра “Электрооборудование и автоматизация”, ТГТУ*

**Ключевые слова и фразы:** измерительно-вычислительная система; муаровая картина; обработка экспериментальных данных; средства электронной микроскопии, электронно-оптическая система.

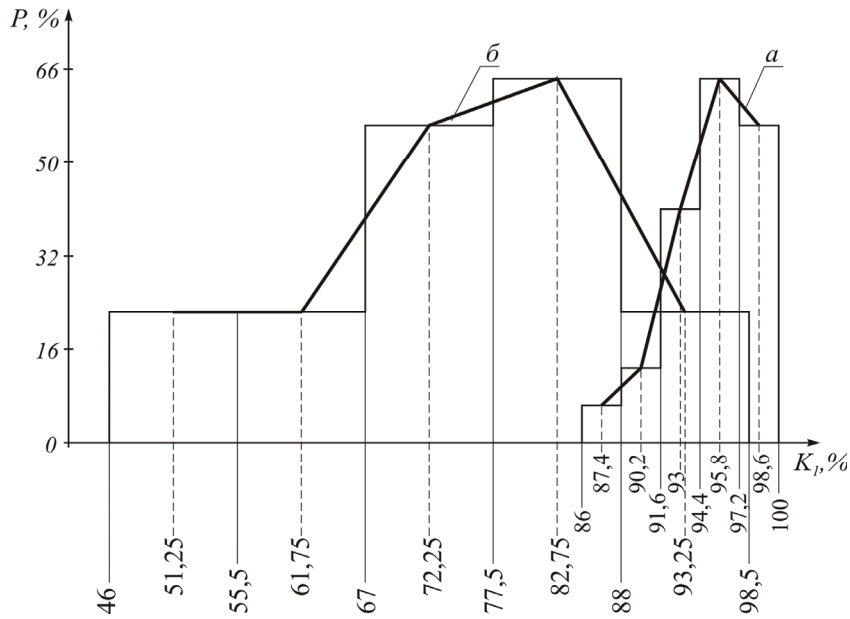
**Аннотация:** Применение метода муаровых картин, полученных средствами электронной микроскопии, позволяет получать топографию магнитного поля любой конфигурации. Предложена методика, определяющая бракованные и годные изделия по коэффициентам симметрии и площади темных частей муарового изображения.

Измерительно-вычислительная система (ИВС) контроля качества магнитных систем позволяет определить площадь темных частей муаровой картины и коэффициенты симметрии средних и крайних частей изображения [1].

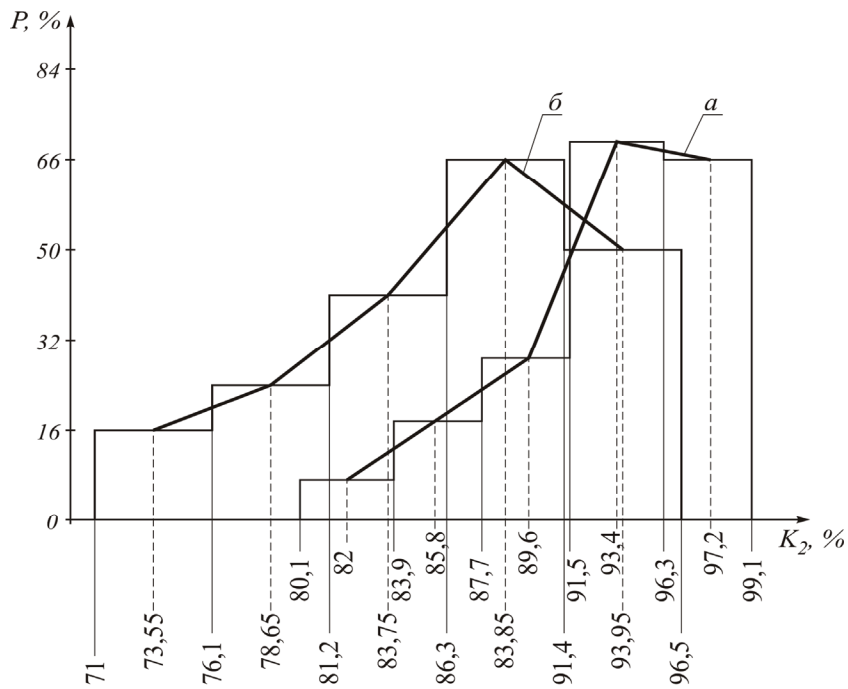
С помощью ИВС были исследованы годные и бракованные блоки магнитных головок. По этим данным построены полигон и гистограмма частот распределения отдельно для годных и бракованных изделий (рис. 1 – 3).



**Рис. 1** Распределение плотности вероятностей площади темных областей муарового изображения:  
а – годных; б – бракованных изделий



**Рис. 2** Распределение плотностей вероятностей коэффициента симметрии средних частей муарового изображения:  
*a* – годных; *б* – бракованных изделий



**Рис. 3** Распределение плотностей вероятностей коэффициента симметрии крайних частей муарового изображения:  
*a* – годных; *б* – бракованных изделий

Разбиение на классы выполнено по правилу Штюргеса [2]. При этом количество групп вычисляется по формуле

$$k = 1 + 3,32 \lg n . \quad (1)$$

Для проверки такой гипотезы воспользуемся методикой [3] и вычислим усредненное по выборке значение площади черноты муарового изображения

$$\bar{P}_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Mi}. \quad (2)$$

Среднее абсолютное отклонение (CAO) вычисляется по формуле

$$\text{CAO} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{Mi} - \bar{P}_M|. \quad (3)$$

Выборочное среднеквадратичное отклонение измеряемой величины вычисляется по формуле

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{Mi} - \bar{P}_M)^2}. \quad (4)$$

К малым выборкам с числом элементов  $n < 120$  применима простая рекомендация проверки гипотезы нормального распределения данных

$$\left| \frac{\text{CAO}}{\bar{S}_p} - 0,7979 \right| < 0,4 / \sqrt{n}. \quad (5)$$

При выполнении неравенства (5) гипотеза нормального закона распределения измерительных данных признается подтвержденной.

Регулируемая программно-управляемая мера в виде диапазона площадей  $2I_{\text{дов}}$  зависит от числа годных изделий. Величина доверительного интервала, определяющего границы, в которых могут находиться значения результатов вычислений площадей черноты по муаровым изображениям [4]

$$I_{\text{дов}} = \bar{S}_p Z_p, \quad (6)$$

где  $Z_p$  – количество среднеквадратичных отклонений в половине допуска при доверительной вероятности  $P_r$ .

Измеряемая величина площади темных частей муарового изображения для годных изделий может находиться в интервале

$$\bar{P}_M - I_{\text{дов}} \leq \bar{P}_M \leq \bar{P}_M + I_{\text{дов}}, \quad (7)$$

где  $P_{Mi}$  – измеряемая величина площади черноты;  $\bar{P}_M$  – средневыворочное значение измеряемой величины.

Рассчитаем по выражениям (8) и (9) значения коэффициентов симметрии средних и крайних частей муарового изображения [5]

$$K_1 = \left( 1 - \frac{\max(P_2, P_3) - \min(P_2, P_3)}{P_2 + P_3 - 2P_0} \right) \cdot 100, \quad (8)$$

где  $P_2, P_3$  – количество черных пикселей во 2 и 3 частях муарового изображения.

Для крайних частей муарового изображения вычисление коэффициента симметрии выполняется аналогичным образом

$$K_2 = \left( 1 - \frac{\max(P_1, P_4) - \min(P_1, P_4)}{P_1 + P_4 - 2P_0} \right) \cdot 100, \quad (9)$$

где  $P_1, P_4$  – количество черных пикселей в 1 и 4 частях муарового изображения.

Рассчитанные по выражениям (8) и (9) значения коэффициентов симметрии также можно использовать для создания инженерной методики определения бракованных изделий. Аналогичным образом определим границы допуска для годных изделий при контроле по коэффициентам симметрии средних  $K_1$  и крайних  $K_2$  частей муарового изображения.

Важным обстоятельством является то, что коэффициент симметрии представляет собой интегральную меру оценки брака, т.к. зависит от нескольких дефектных характеристик, например, некачественной обработки материала сердечника, неидеальности поверхности и плохого совмещения полублоков при сборке. Следовательно, данный критерий должен быть применен в совокупности с критерием, полученным по площади темных частей муарового изображения. Последний является дифференциальной мерой оценки брака, т.к. выявляет силовую характеристику поля.

В результате получены критерии для разбраковки изделий:

$$P_{M \min} \leq P_{Mi} \leq P_{M \max}, \quad (10)$$

$$K_{1 \min} \leq K_{1i} \leq K_{1 \max}, \quad (11)$$

$$K_{2 \min} \leq K_{2i} \leq K_{2 \max}. \quad (12)$$

Следовательно,

$$\text{если } P_{Mi}, K_{1i}, K_{2i} \begin{cases} > \\ \leq \end{cases} P_{M \min}, K_{1 \min}, K_{2 \min}, \text{ то } \begin{cases} 1 - \text{годная} \\ 0 - \text{брак} \end{cases}.$$

Анализ вышеизложенного позволяет предложить инженерную методику определения бракованных изделий по коэффициентам симметрии и площади темных частей муарового изображения, включающую следующие этапы:

- получение муарового изображения для исследуемых головок  $i = 1, \dots, n$ ;
- нахождение площадей затемненных частей  $P_{Mi}$  и коэффициентов симметрии  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$  муарового изображения в процессе машинного моделирования при подсчете пикселей;
- определение бракованных и годных изделий по предложенным критериям:  $P_{M \min} \leq P_{Mi} \leq P_{M \max}$ ;  $K_{1 \min} \leq K_{1i} \leq K_{1 \max}$ ;  $K_{2 \min} \leq K_{2i} \leq K_{2 \max}$ .

Искажение изображения при передаче на экран компьютера зависит от характеристик электронно-оптических и электронных блоков фотокамеры, а также от характеристик компьютера как воспроизводящего устройства. Так как для используемого в системе класса цифровой фотокамеры отсутствует погрешность оптической системы в виде дисторсии, то необходимо определить неточность воспроизведения изображения на границе белого и черного контура в цифровой картине, имеющей пиксельную структуру. Для определения указанной погрешности данной измерительно-вычислительной системы при определении площади темных частей муарового изображения проводились опыты следующего характера. Использовались контрастные, черно-белые изображения с различными видами геометрических фигур, имеющих нелинейные контуры, площади которых известны и соответствуют значениям по муаровым исследованиям. Данные изображения обрабатывались с помощью разработанной ИВС с целью определения площади черных областей. Сравнение площадей, определенных для различных криволинейных картин экспериментально с использованием разработанной программы и ИВС показало, что расхождение с реальными значениями площади соответствует 1,7 % черных пикселей от общего изображения. При этом методическая погрешность определения площади темных частей изображения в ИВС соответствует  $\delta_{PM} = 2 \%$ .

Коэффициенты симметрии  $K_1$  и  $K_2$ , которые выполняются по одному алгоритму, функционально зависят от определяемой площади темных частей муарового изображения

$$K_1 = f(P_2, P_3). \quad (13)$$

Так как ошибки определения  $P_2$  и  $P_3$  малы по сравнению с определяемой величиной, можно с достаточной степенью точности записать

$$\Delta K_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial P_2}\right)^2 (\Delta P_2)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_3}\right)^2 (\Delta P_3)^2}. \quad (14)$$

Используя выражения (14) и зависимость (8), можно найти относительную погрешность определения коэффициента симметрии  $K_1$

$$\delta_{K_1} = \frac{\sqrt{(\Delta P_2)^2 + (\Delta P_3)^2}}{P_2 - P_3} + \frac{\sqrt{(\Delta P_2)^2 + (\Delta P_3)^2}}{P_2 + P_3}. \quad (15)$$

Аналогичным образом определяется относительная погрешность коэффициента симметрии крайних частей  $K_2$ . Вычисленные значения относительной погрешности определения коэффициентов симметрии не превышают  $\delta_K = 2,5\%$ .

#### Список литературы

1. Математическое моделирование магнитных полей рассеяния с помощью электронно-оптического муара / В.Ф. Калинин, В.М. Иванов, А.В. Баранов, Е.А. Печагин // Вестник ТГТУ. 2002. – Т. 8, № 3. – С. 491-496.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский.-М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.
3. Айвазян С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Михитарян. – М.: Юнити, 1998. – 1023 с.
4. Математическое моделирование магнитных полей рассеяния при исследовании средствами электронной микроскопии / А.В. Баранов, Е.А. Печагин, В.Ф. Калинин, В.М. Иванов // Труды ТГТУ. – Тамбов; 2001. – Вып. 9. – С. 69-73.
5. Использование электронно-оптических эффектов при контроле качества магнитных систем / А.Н. Уваров, Е.А. Печагин, В.М. Иванов // Актуальные проблемы современной науки – Самара; 2003. – Ч.12-16. – С.28-30.

---

### Criteria for Sorting Measuring-Calculating System of Quality Control over Magnetic Systems

V.F. Kalinin, V.M. Ivanov, E.A. Pechagin, D.N. Limonov, A.N. Uvarov

*Department "Electrical Equipment and Automation", TSTU*

**Key words and phrases:** measuring calculating system; moire pattern; experimental data processing; electronic microscopic means; electronic optical system.

**Abstract:** Application of the method of moire patterns obtained through electronic microscopic means enables to have topography of magnetic field of any configuration. The suggested method allows faulty and proper items to be sorted by coefficients of symmetry and square of dark parts of moire pattern.

---

### **Kriterien des Austypisierens vom Meßrechensystem der Qualitätskontrolle der magnetischen Systeme**

**Zusammenfassung:** Die Anwendung der Methode der durch die elektronische Mikroskopie erhaltenen geflammten Bilder läßt zu, die Topographie des magnetischen Feldes einer beliebigen Konfiguration zu bekommen. Die angebotene Methodik läßt zu, die Ausschuss- und Taugenerzeugnisse nach den Koeffizienten der Symmetrie und der Fläche der dunkelen Teile des geflammten Bildes zu bestimmen.

---

### **Critères de la mise au rebut du système informationnel de mesure du contrôle de la qualité des systèmes magnétiques**

**Résumé:** Est proposée la méthode permettant de définir les articles rebutés et valables d'après les coefficients de la symétrie et du surface des parties sombres des images de moire.

---