

**ОЦЕНКА ИТОГОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ
ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА НИТЕЙ
В ТКАНЫХ ПОЛОТНАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**EVALUATION OF FINAL ERROR
OF OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE NUMBER OF THREADS
IN WOVEN FABRICS SPECIAL PURPOSE**

S.A. VAKHONINA, A.YU. MATROKHIN
S.A. VAKHONINA, A.YU. MATROKHIN

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: mtsm@ivgpu.com

Проведена оценка итоговой погрешности оптического (бесконтактного) метода определения числа нитей в тканых полотнах специального назначения на основе стандартной методики. Результаты исследований основной метрологической характеристики свидетельствуют о возможности применения предлагаемого бесконтактного метода в системе входного контроля предприятий-изготовителей парашютных систем.

The estimation of total error of optical (non-contact) the method for determining the number of yarns in woven fabrics for special purposes based on a standard methodology. The research results the main metrological characteristics suggest the possibility of using the proposed method in a non-contact system, incoming inspection of manufacturers of parachute systems.

Ключевые слова: полотна специального назначения, измерение, число нитей основы и утка, доверительные границы, итоговая погрешность.

Keywords: special purpose fabrics, measurement, warp (end) and filling (pick) count, confidence limits, total accuracy.

Задача по повышению эффективности технического контроля за счет внедрения современных средств получения и обработки информации [1] остается актуальной, в том, числе в производственных системах, связанных с государственным оборонным заказом. Отдельные решения в этой области находят свое применение при производстве гражданской продукции [2]. Наиболее востребованным пользователями является метод экспресс-контроля плотности тканей (числа нитей на 10 см) по основе и утку [3]. Сущность получения измерительной информации заключается в автоматизированном анализе цифровых изображений, за-

фиксированных оператором с помощью проекционного устройства на базе серийной фотокамеры. Измерительная система включает в себя необходимые технические средства (проекционное устройство), программное обеспечение и организационные меры по планированию мониторинга и использованию его результатов. Номинальная производительность контроля составляет до 100 образцов в час силами одного оператора. Данные характеристики могут обеспечить сплошной входной контроль даже для тканей специального назначения, используемых для изготовления систем спасения экипажей. Как правило, при про-

изготовлении используют ткани с числом нитей на 10 см более 400, поэтому использование стандартного метода не обеспечивает необходимого объема выборки и может привести к нарушению требований при приемке сырья.

Внедрение инноваций в рабочие процессы связано с тщательным выполнением процедур допуска. В отношении процессов контроля допуску подвергаются методы измерений и соответствующие средства. Одним из условий внедрения рассматриваемого метода контроля является нормирование метрологических характеристик и утверждение типа средства измерения. На стадии серийного производства добавится обязательная процедура первичной и периодической поверки. В настоящий момент речь идет о проведении производственных испытаний измерительной системы числа нитей с целью установления пределов допускаемой погрешности результатов и оценивания ее применимости в реальных условиях. Критерий применимости системы устанавливали с учетом требований к контролируемому материалу – ткани технической капроновой арт. 56002П по ГОСТу 16428–90 [4]. Допускаемое отклонение числа нитей на 1 см по основе составляет ± 1 нить и по утку $\pm 1,5$ нити. Отсюда, пользуясь "правилом десяти", можно установить оптимальный предел допускаемой погрешности результата на 10 см: ± 1 нить по основе и $\pm 1,5$ нити по утку.

Стандартную методику определения погрешности измеряемой величины на основе обработки результатов прямых многократных измерений устанавливает ГОСТ Р 8.736–2011 [5]. Данный метод можно использовать для нормирования величины погрешности новых типов средств измерений на этапе метрологической экспертизы. Учитывая объект исследования, необходимо было определиться с основными параметрами методики определения числа нитей на 10 см, а также с критериями достоверной вероятности предполагаемых выводов. Наиболее подходящим к данному

объекту стандартным методом является ГОСТ 29104.3–91 [6]. Прежде всего установлена измеряемая длина проб, равная 5 см в обоих направлениях, что соответствует номинальному значению количества нитей рассматриваемой ткани (470 – по основе, 440 – по утку). Стандартное количество измерений, равное 3 – по основе и 4 – по утку, интерпретировано нами следующим образом: каждое измерение соответствует определенному участку исследуемого полотна, на котором можно получить необходимую серию изображений для автоматического анализа. В исследовании предполагалось использовать подход, при котором изображения внутри каждой серии должны быть получены с помощью предлагаемого метода экспресс-контроля [2] в абсолютно идентичных условиях без смещения проекционного устройства. Использование автоматизированного подсчета числа нитей на 10 см определило одинаковое число серий по основе и утку, равное 4. Объем серии отдельных результатов измерений установлен равным 16. Это связано с необходимостью их проверки на соответствие нормальному закону распределения. Важным параметром в проводимом исследовании является величина доверительной вероятности. Согласно [5] в особых случаях, когда результаты измерений имеют значение для здоровья людей, ее минимальное значение должно составить не менее 0,99. Объектом исследования является ткань, используемая для изготовления систем спасения экипажей, соответственно в дальнейшем примем величину доверительной погрешности, равную 0,99.

Изображения были получены с точечной пробы арт. 56002П в четырех местах (сериях) в 16 повторностях. Исследования проводились таким образом, чтобы разные серии не включали одни и те же нити и были расположены равномерно по поверхности точечной пробы. Отдельные результаты измерений и вычисляемые статистические характеристики сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Серия 1		Серия 2		Серия 3		Серия 4	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	478	442	481	455	477	450	477	445
2	476	440	478	454	473	450	474	442
3	474	442	478	454	475	452	476	440
4	474	442	480	453	475	452	476	438
5	474	442	480	453	(470)	450	476	444
6	476	442	480	451	475	450	476	446
7	474	442	480	457	477	452	474	444
8	477	439	480	455	475	450	476	438
9	477	441	480	451	477	449	476	438
10	477	441	482	457	478	450	474	441
11	477	441	480	453	475	449	476	439
12	475	438	480	455	475	449	476	441
13	477	437	480	451	477	448	476	444
14	481	439	480	453	476	448	476	442
15	475	442	480	451	477	450	476	444
16	477	439	480	453	477	450	476	442
\bar{x}	476	441	480	454	476	450	476	442
S^*	1,82	1,68	0,90	1,97	1,95	1,20	0,90	2,55
d	0,79	0,78	0,49	0,82	0,74	0,68	0,49	0,83
Соответствие нормальному закону распределения	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да
S	1,88	1,732	0,931	2,22	1,336	1,238	0,93	2,633
$S_{\bar{x}}$	0,47	0,433	0,233	0,555	0,345	0,310	0,233	0,658
G_1	2,66	0,577	2,148	1,351	1,497	1,616	1,075	1,519
G_2	1,06	2,309	2,148	1,351	2,245	1,616	2,151	1,519
ε	1,386	1,277	0,687	1,637	1,017	0,914	0,687	1,940
Θ_{Σ}	0,128	0,118	0,128	0,118	0,128	0,118	0,128	0,118
S_{Θ}	0,074	0,068	0,074	0,070	0,074	0,070	0,074	0,069
S_{Σ}	0,476	0,438	0,244	0,560	0,353	0,318	0,244	0,662
K	2,783	2,784	2,658	2,814	2,733	2,724	2,655	2,832
Δ	1,325	1,219	0,649	1,576	0,965	0,866	0,648	1,875
Запись результата согласно [5]	476±1,325;0,99	441±1,219;0,99	480; 0,233; 16; 0,128	454±1,576; 0,99	476±0,965; 0,99	450; 0,310; 16; 0,118	476; 0,233; 16; 0,128	442±1,875; 0,99

Согласно [5] оценку измеряемой величины \bar{x} , за которую принимают среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений, вычисляют по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где x_i – i -й результат измерений количества нитей; n – число результатов измерений (наблюдений).

Среднее квадратическое отклонение S серии (далее – группы) результатов измерений, содержащей n значений, вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (2)$$

Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки изме-

ряемой величины) $S_{\bar{x}}$ – вычисляют по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Для исключения грубых погрешностей используют критерий Граббса. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший x_{\max} или наименьший x_{\min} результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S}, \quad G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{S}. \quad (4)$$

Полученные значения G_1 и G_2 сравнивают с теоретическим значением $G_T=2,852$ критерия Граббса (Приложение А в [5]) при выбранном уровне значимости $q=1\%$.

Если $G_1 \leq G_T$ и/или $G_2 \leq G_T$, то x_{\max} и/или x_{\min} не считают промахом и сохраняют в ряду результатов измерений. Если $G_1 > G_T$ и/или $G_2 > G_T$, то из выборки соответственно исключают x_{\max} и/или x_{\min} как маловероятные значения.

В нашем случае исключен только один результат из третьей группы. При этом вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины вычисляют с помощью формулы:

$$\varepsilon = tS_{\bar{x}}, \quad (5)$$

где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности $P=0,99$ и числа результатов измерений $n=16$, определяем $t = 2,949$.

Границу неисключенной систематической погрешности (НСП) Θ_{Σ} оценки измеряемой величины при наличии менее трех составляющих ($m < 3$), каждая из которых представлена границами Θ_i , оценивают так:

$$\Theta_{\Sigma} = \pm \sum_{i=1}^m |\Theta_i|. \quad (6)$$

При числе составляющих НСП ($m \geq 3$) ее доверительные границы вычисляют путем построения композиции по формуле:

$$\Theta_{\Sigma}(P) = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (7)$$

где Θ_i – граница i -й НСП; k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью, числом составляющих НСП и их соотношением между собой.

В рассматриваемом случае будем учитывать только одну составляющую НСП, вызванную ограниченной разрешающей способностью средства измерения. При стандартных размерах оптической матрицы проекционного устройства (3000×4000 пикселей) измеряемая длина эквивалентна 1868 пикс. Это соответствует размеру пикселя, равному 0,027 мм. Выразим этот параметр в единицах числа нитей, сопоставив его с размером минимального элемента структуры ткани, включающим пору и нить. Учитывая номинальное число нитей (470 – по основе, 440 – по утку), получим размер минимального элемента ткани по основе, равный 0,213 мм, а по утку – 0,227 мм. Таким образом, неисключенная погрешность $\Theta_i = \Theta_{\Sigma}$, выраженная в единицах числа нитей, составит 0,128 для основы и 0,118 – для утка.

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют следующим образом:

$$\Delta = K S_{\Sigma}, \quad (8)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП.

Суммарное среднее квадратическое отклонение S_{Σ} оценки измеряемой величины находят по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_x^2}, \quad (9)$$

где S_{Θ} – среднее квадратическое отклонение НСП, которое оценивают в зависимости от способа вычисления НСП по формуле:

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}. \quad (10)$$

Коэффициент K для подстановки в (8) определяют по эмпирической формуле:

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta_{\Sigma}}{S_x + S_{\Theta}}. \quad (11)$$

Таким образом определены доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины для каждой группы результатов (табл. 1). Запись результатов дана как в интервальной, так и в приведенной формах. Это связано с проверкой результатов на соответствие нормальному закону распределения по составному критерию d и m . Как видно из табл. 1, фактические результаты по группам имеют различную оценку погрешности. Поэтому необходимо определить некоторый интервал допустимых значений погрешности на основе полученных выборочных данных.

Поставленная задача решена отдельно для результатов измерения числа нитей по основе и утку. Определение доверительной границы итоговой погрешности осуществляли по выражениям (1), (2), (3) и (5). В итоге получены следующие интервальные оценки: по основе $\Delta_o = 0,9 \pm 0,9$; по утку $\Delta_y = 1,4 \pm 1,1$. Очевидно, что практический интерес вызывает верхний предел погрешности, поэтому для дальнейшего нормирования компьютерного метода следует принять предел допустимой (приписанной) погрешности измерения числа нитей по основе $\Delta_o = 1,8$ нитей, а по утку $\Delta_y = 2,5$ нитей.

Возвращаясь к цели исследования по оцениванию применимости системы измерений в реальных условиях, можно отметить, что правило десятикратного запаса в отношении измеряемого параметра ткани специального назначения выполнено не в полной мере. Вместе с тем в пределах допускаемых отклонений числа нитей по стандарту [4] найденная величина погрешности Δ_o укладывается более 4,5 раз, а величина погрешности Δ_y – 4 раза. Данный запас точности можно считать достаточным для рекомендации системы к использованию для контроля данного ассортимента тканей.

ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка итоговой погрешности оптического метода определения числа нитей в тканых полотнах специального назначения.
2. Дана положительная оценка применимости системы бесконтактных измерений в реальных условиях для тканей специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киприна Л.Ю., Сокова Г.Г., Исаева М.В. Анализ информационных потоков технологических процессов текстильного предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3. С. 9...12.
2. Баженов С.М., Вахонина С.А., Тарасов Н.В., Матрохин А.Ю. Разработка информационно-управляющей системы автоматизированного мониторинга технологических процессов производства тканей // Автоматизация в промышленности. – 2015, №12. С. 32...36.
3. Шаломин О.А., Матрохин А.Ю., Баженов С.М., Кавин Н.О. Построение автоматизированной системы контроля технологического процесса формирования ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С. 167...169.
4. ГОСТ 16428–90. Ткани технические из натурального шелка и химических нитей. Технические условия.
5. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
6. ГОСТ 29104.3–91. Ткани технические. Метод определения количества нитей на 10 см.

REFERENCES

1. Kiprina L.Ju., Sokova G.G., Isaeva M.V. Analiz informacionnyh potokov tehnologicheskikh processov tekstil'nogo predpriyatija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 3. S. 9...12.

2. Bazhenov S.M., Vahonina S.A., Tarasov N.V., Matrohin A.Ju. Razrabotka informacionno-upravljajushhej sistemy avtomatizirovannogo monitoringa tehnologicheskikh processov proizvodstva tkanej // Avtomatizacija v promyshlennosti. – 2015, №12. S.32...36.

3. Shalomin O.A., Matrohin A.Ju., Bazhenov S.M., Kavin N.O. Postroenie avtomatizirovannoj sistemy kontrolja tehnologicheskogo processa formirovanija

tkani // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 1. S. 167...169.

4. GOST 16428–90. Tkani tehnicheckie iz natural'nogo shelka i himicheskikh nitej. Tehnicheckie uslovija.

5. GOST R 8.736–2011. Gosudarstvennaja sistema obespechenija edinstva izmerenij. Izmerenija prjamyje mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye polozhenija.

6. GOST 29104.3–91. Tkani tehnicheckie. Metod opredelenija kolichestva nitej na 10 sm.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии. Поступила 11.04.16.