

УДК 677.027

Разработка алгоритма обнаружения линии раппорта рисунка как метода контроля перекоса уточной нити в текстильных материалах со сложным переплетением или рисунком

**Мирошниченко Д. А.,
к.т.н., ст.н.с,
Барабанщикова И. С.,
к.т.н., доц.,
Карева Т. Ю., д.т.н., проф.**

Ивановский государственный
политехнический университет,
г. Иваново,
Российская Федерация

Реферат. В статье рассматривается проблема перекоса уточных нитей в текстильных материалах как одного из существенных дефектов, влияющих на качество конечного продукта. Анализируются основные причины возникновения диагональных и дуговых перекосов. Представлена разработка программно-аппаратного комплекса для автоматического контроля и исправления перекоса уточной нити в материалах со сложным рисунком. Описывается применение методов компьютерного зрения и алгоритмов обработки изображений для определения положения уточной нити. Проводится анализ различных методов корреляции с использованием библиотеки OpenCV, выбирается оптимальный алгоритм для обнаружения раппорта рисунка.

Ключевые слова: лёгкая промышленность, текстильный материал, уточная нить, перекос структуры материала, алгоритмы компьютерного зрения, техническое зрение.

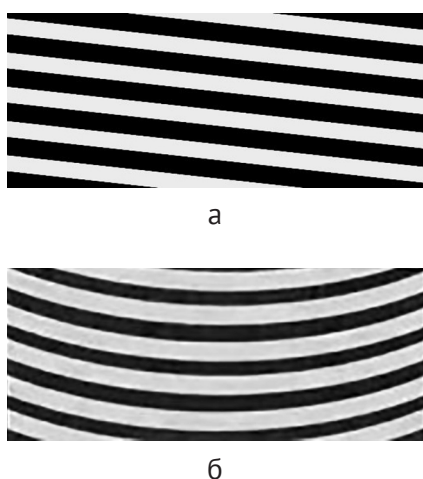
Перекося уточных нитей в текстильных материалах представляет собой отклонение от перпендикулярного расположения основных нитей относительно уточных по всей ширине полотна или на его отдельных участках. Данный дефект существенно влияет на качество конечного продукта и может привести к значительным производственным потерям [1–3].

Формирование перекосов в движущемся текстильном материале обусловлено двумя основными причинами:

- различие в скоростях перемещения участков ткани по ширине;
- несоответствие длин путей, проходимых различными участками полотна (например, при движении по дуге).

В производственных условиях часто наблюдается комплексное воздействие указанных причин. На рисунке 1 представлены примеры дефекта – перекоса ткани по утку в случае диагонального (рис. 1 а) и дугового (рис. 1 б) его проявления.

Основным источником диагональных перекосов является неравномерное натяжение кромок при обработке расправленного полотна. Ключевую роль играют тканена-



**Рисунок 1 – Примеры
дефекта – перекося ткани:
а – диагональный; б – дуговой**

правляющие ролики с нарушенной параллельностью осей. При этом наибольшую деформацию вызывают ролики, оси которых находятся в одной плоскости. Дополнительно воздействовать на положение нитей в материале могут такие причины как: неравномерный прижим полотна по кромкам; некачественные швы при сшивании полотен; чрезмерное натяжение материала; повышенное трение в местах перегиба; неравномерность воздушного потока при сушке; неправильная сушка основных нитей при шлихтовании.

Дуговые перекося характеризуются искривлением положения уточных нитей по дугообразной траектории. Основными причинами их возникновения являются: неравномерное распределение нагрузки по ширине полотна при прохождении через направляющие устройства, деформация ткани при прохождении кри-

волинейных участков технологического оборудования, нарушение геометрии направляющих роликов и валиков, различная степень растяжения материала в поперечном направлении или неравномерное натяжение при намотке на валы.

Формирование перекося может начинаться уже на этапе ткачества, однако преимущественно они возникают в процессе отделки текстильных материалов. Наибольшее количество таких дефектов возникают в отбельных, красильно-заварочных и аппретурно-отделочных цехах. Ткани с перекосям утка классифицируются как бракованные и могут вызывать следующие проблемы:

- несовпадение рисунка в местах швов при пошиве;
- деформация формы раскроя;
- искажение внешнего вида готовой продукции;
- нарушение геометрической точности при нанесении печатного рисунка.

Количество и интенсивность проявления таких дефектов зависит от уровня технологического контроля, оснащённости предприятия средствами исправления перекося, а также общего качества организации производственного процесса. В настоящее время на отечественных производствах установлено либо отечественное оборудование с устаревшими оптико-механическими датчиками, либо импортное, замена вышедших из строя датчиков на котором в настоящее время является проблематичной по причине санкций, наложенных западными странами на Российскую Федерацию [4]. При этом установленные на импортных машинах системы исправления перекося в основном разработаны для распознавания этого дефекта на суровых, отбеленных и гладкокрашеных тканях. Особую сложность в определении перекося уточных нитей вызывает сложная структура ткани, например, жаккардовые переплетения. В таких материалах обнаружение уточной нити в ее стандартном положении практически невозможно. Если переплетение ткани яв-

ляется многослойным или имеет сложный узор, представленный на рисунке 2, с использованием нескольких уточных нитей различных цветов, то это дополнительно усложняет процесс обнаружения линии уточной нити.



Рисунок 2 – Фрагмент жаккардового переплетения ткани

В рамках НИОКР авторами выполняется разработка программно-аппаратного комплекса управления механизмами исправления перекоса уточной нити для текстильных материалов со сложным рисунком (жаккардовые узоры или печать). Основным отличием данной разработки является использование камеры технического зрения и специального программного обеспечения, предназначенного для автоматического определения положения уточной нити и оперативной подачи сигналов управления на механизмы исправления перекоса в случае отклонения положения нити от нормы.

Особенностью программного обеспечения является использование математических алгоритмов обработки изображений. В отличие от нейронных сетей, получивших широкое распространение при анализе фотографий [5–7], применение алгоритмов компьютерного зрения позволяет значительно ускорить процесс обработки видеопотока и сделать процесс перехода на новые артикулы ткани быстрым и без необходимости дополнительного обучения нейросети [8].

Известно, что процесс формирования ткани на ткацком станке происходит в результате последовательного переплетения двух систем нитей – основы и утка, расположенных в ортогональных тканях перпендикулярно друг к другу [9]. Исходя из этого, наиболее удобным способом контроля положения уточной нити в материалах со сложной структурой является обнаружение не одной уточной нити, а всего раппорта рисунка. Пример принципа

сопоставления уточной нити с линией раппорта представлен на рисунке 3. При возникновении перекоса рисунка относительно утка важно соблюдать направление линии раппорта, так как он определяет внешнее восприятие ткани.

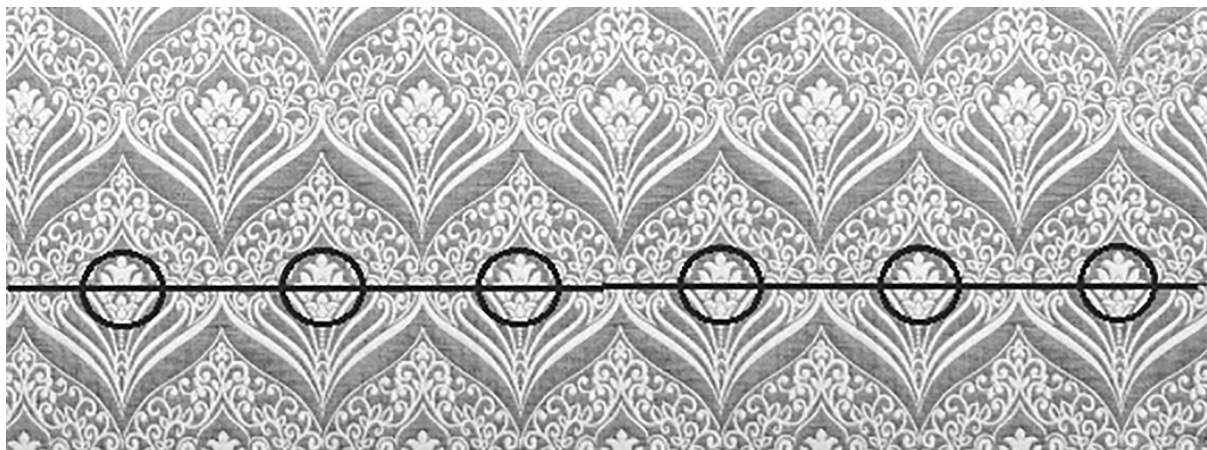


Рисунок 3 – Принцип сопоставления уточной нити с линией раппорта

Для обнаружения раппорта необходимо найти повторяющийся наиболее характерный элемент узора (шаблон). Для этого применен метод обработки изображения, суть которого состоит в обнаружении всех участков на поверхности ткани, совпадающих с заданным шаблоном. Корреляция найденных фрагментов должна быть не ниже установленного порогового значения, который определялся экспериментально для различных артикулов ткани.

Первым шагом метода является выделение шаблона на рисунке и его последующая «примерка» к каждому возможному положению на изображении и вычисление коэффициента корреляции одним из возможных способов. Таким образом формируется двумерный массив коэффициентов. Чем больше коэффициент корреляции, тем больше соответствующая область изображения совпадает с шаблоном.

Составления алгоритмов осуществлено на основе библиотеки компьютерного зрения с открытым исходным кодом OpenCV. Это мощная и широко используемая библиотека для обработки изображений и задач компьютерного зрения. С момента своего создания OpenCV используется во многих приложениях и научно-исследовательских работах. В данной библиотеке имеется функция, реализующая задачу поиска по шаблону – «matchTemplate» [10]. На входе функция принимает: исходное изображение, изображение шаблона и идентификатор математического метода, с помощью которого изображения будут сопоставляться. На выходе функция формирует двумерный массив коэффициентов. Сигнатура используемой функции следующая:

`cv.matchTemplate(image,templ,method) ->result,` (1)

где `image` – изображение для поиска; `templ` – шаблон для поиска (размер строго меньше

image); result – массив с результатом, если размер image = $W \cdot H$, а размер templ = $\omega \cdot h$, то размер result = $(W (W - \omega + 1) \cdot (H - h + 1))$; method – метод сравнения исходного изображения и шаблона.

Данная функция имеет шесть поддерживаемых методов сравнения:

```
enum cv::TemplateMatchModes {  
cv::TM_SQDIFF = 0  
cv::TM_SQDIFF_NORMED = 1,  
cv::TM_CCORR = 2,  
cv::TM_CCORR_NORMED = 3,  
cv::TM_CCOEFF = 4,  
cv::TM_CCOEFF_NORMED = 5}
```

Для анализа существующих методов корреляции и выбора из них наиболее подходящего применительно к изображениям написан программный код на языке Python. Для тестирования выбрано изображение ткани, представленное на рисунке 4 а, и полученный на ее основе шаблон рисунок 4 б.



**Рисунок 4 – Изображения для тестирования методов корреляции:
а – изображение ткани; б – выбранный шаблон**

Результат обработки изображения программным кодом с использованием метода TM_SQDIFF представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Результат обработки изображения методом TM_SQDIFF

Пять из шести методов справились с задачей поиска шаблона (рис. 4 б) на изображении ткани (рис. 4 а). Метод TM_CCORR исключён из дальнейшего исследования. Введен параметр «порог корреляции» – это нижняя граница диапазона. Методы TM_SQDIFF и TM_CCOEFF ненормированные, следовательно, параметр «порог корреляции» к ним не применим. Поэтому данные методы были исключены после тестирования.

Для оставшихся методов порог корреляции подобран экспериментально и составил следующие значения:

- TM_SQDIFF_NORMED = 0.07;
- TM_CCORR_NORMED = 0.98;
- TM_CCOEFF_NORMED = 0.6.

Для метода TM_SQDIFF_NORMED было выбрано значение корреляции близкое к 0, что вызвано особенностью работы данного метода.

Далее алгоритм был модифицирован для нахождения на поверхности всех фрагментов, похожих на шаблон с учетом некоторого диапазона значений коэффициентов корреляции, при этом фрагмент с коэффициентом корреляции, не попавшим в заданный диапазон, отбрасывается. Результат обработки изображения модифицированным циклом с использованием метода корреляции TM_CCOEFF_NORMED представлен на рисунке 6 а.



а



б

Рисунок 6 – Линия одиночных фрагментов: а – без фильтра; б – с фильтром

Метод TM_SQDIFF_NORMED не справился, так как не смог найти все фрагмент и при этом выдавал ложные. Методы TM_CCORR_NORMED и TM_CCOEFF_NORMED дают приблизительно одинаковый результат. Однако, метод TM_CCOEFF_NORMED нормирован в

диапазоне от -1 до 1, в то время как метод TM_CCORR_NORMED может быть нормирован только в пределах от 0 до 1. Значения ниже 0 позволяют применить негативную корреляцию, что необходимо для обнаружения фрагментов с тем же рисунком, но инвертированными цветами. При этом граница между позитивной и негативной корреляцией будет проходить через 0. Таким образом, можно использовать один и тот же порог корреляции, но с разным знаком. Исходя из этого, метод корреляции TM_CCOEFF_NORMED является более эффективным. Математическое описание метода имеет следующий вид:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T'(x', y') \cdot I'(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T'(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I'(x + x', y + y')^2}}, \quad (2)$$

где $T'(x', y') = T(x', y') - I / (\omega \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} T(x'', y'')$;

$I'(x + x', y + y') = I(x + x', y + y') - I / (\omega \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} I(x + x'', y + y'')$;

(x, y) – координаты пикселя изображения; (x', y') – координаты пикселя шаблона; (ω, h) – размеры шаблона; $T(x', y')$ – значение пикселя шаблона; $I(x + x', y + y')$ – значение пикселя изображения.

Из рисунка 6 а видно, что при использовании метода сопоставления шаблона с изображением ткани имеются прямоугольники с разной толщиной линии. Все используемые в методе прямоугольники имеют одинаковую толщину, но они могут скапливаться в одном месте из-за того, что на участке с высокой корреляцией небольшое смещение шаблона также дает корреляцию выше заданного порога. Поэтому мы получаем не точку корреляции, а «пятно» корреляции, из которого необходимо выбрать только одну точку. Чтобы это сделать, необходимо полученные фрагменты пропустить через функцию фильтрации. Для этого разработан дополнительный программный код, позволяющий определять конкурирующие по расположению в кадре фрагменты и оставлять только один. В результате фильтрации получается линия одиночных фрагментов, представленная на рисунке 6 б.

Таким образом, разработанный программный модуль обнаружения линии раппортов (соответствующий линии уточной нити) с функцией фильтрации позволяет получить необходимые исходные данные для определения положения линии уточной нити в ткани с жаккардовым переплетением или сложным рисунком. На основе представленного алгоритма происходит дальнейшая разработка отечественного программно-аппаратного комплекса управления механизмами исправления перекоса уточной нити для текстильных материалов с применением системы технического зрения.

Список использованных источников

1. Симонова, М. В., Козлов, А. Б. Автоматическая система исправления перекоса уточных нитей на основе электромагнитных муфт скольжения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2006. № 3 (290). – С. 108–110.
2. Шляхтенко, П. Г., Кофнов, О. В., Сухарев, П. А. Метод определения перекоса уточной

нити в ткани //Оптический журнал. – 2014. – Т. 81. № 2. – С. 76–79.

3. Энтин, В. Я., Соляр, А. Я., Зайцев, В. Е. Определение перекоса нитей утка ткани с помощью оптоэлектронной системы на базе приборов зарядовой связи (ПЗС) // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 1997. № 1. – С. 157–162.

4. Мирошниченко, Д. А., Барабанщикова, И. С., Карева, Т. Ю. Разработка стенда для тестирования программно-аппаратного комплекса управления механизмами исправления перекоса уточной нити в текстильных материалах. // В сборнике: Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024). Материалы докладов международной научно-технической конференции. Витебск, 2025. – С. 177–183.

5. Румянцев, Е. В., Румянцева, В. Е., Коновалова, В. С., Мирошниченко, Д. А. Направления применения искусственного интеллекта в легкой промышленности // Известие вузов. Технология текстильной промышленности. – 2024. № 5 (413). – С. 5–13.

6. Брюханова, Т. А., Мирошниченко, Д. А., Барабанщикова, И. С. Искусственный интеллект в оценке качества текстильных материалов // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2022. № 1. – С. 15–17.

7. Мирошниченко, Д. А., Лобанова, М. С., Карева, Т. Ю. Разработка классификации дефектов текстильных материалов. // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2021. № 1. – С. 270–274.

8. Антонов, М. А., Мирошниченко, Д. А., Болсуновская, М. В., Барабанщикова, И. С. Адаптация нейросетевой модели для поиска дефектов на льносодержащих тканях // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2024. № 1. – С. 12–16.

9. Мирошниченко, Д. А., Барабанщикова, И. С., Карева, Т. Ю. Разработка системы управления механизмами устранения перекоса структуры текстильных материалов с использованием технологий компьютерного зрения. // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2024. № 1. – С. 188–190.

10. Круглик, Е. Д. Машинное зрение на основе OPENCV // В сборнике: Индустрия 1С. Сборник статей II региональной научно-практической конференции. Брянск, 2023. – С. 211–217.