

На правах рукописи

Ивлева Ирина Ивановна

**РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ КРУТКИ НИТЕЙ**

Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка
текстильных материалов и сырья

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Научный руководитель: **Климова Наталья Сергеевна**,
кандидат экономических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», доцент кафедры интеллектуальных систем и защиты информации

Официальные оппоненты: **Коновалов Александр Сергеевич**,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», профессор кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

Рымкевич Ольга Васильевна,
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, доцент кафедры физики

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Защита диссертации состоится «15» сентября 2022 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.01 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, <https://sutd.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.236.01
кандидат технических наук, доцент

Вагнер Виктория Игоревна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы проведенного исследования обусловлена тем обстоятельством, что в Российской Федерации превалирует тенденция обращения на рынке продукции неудовлетворительного качества или товаров более высокого качества, но со стоимостью, превышающей потребительские ожидания. Данная проблема, в основном, является следствием неправильного подбора сырья, неверной технологии производства и/или обработки, что, в свою очередь, связано с экономическим эффектом от производства. Для решения сложившейся ситуации, необходимо уменьшать себестоимость конечной продукции, совершенствуя технологии производства, обработки и методы контроля.

Существуют две разновидности методов контроля: разрушающие и неразрушающие. Экономически наиболее эффективно применять неразрушающие методы контроля, которые позволяют оценивать необходимые параметры производимого изделия без его разрушения и в процессе производства. Одной из разновидностей неразрушающих методов контроля являются оптические методы.

Анализ рынка потребителей показал значительный спрос на товары прядильно-ниточного сегмента производства. Таким образом, актуальность данной научной работы продиктована потребительским спросом на продукцию прядильно-ниточного сектора, тенденциями на неразрушающие ресурсосберегающие технологии и методы контроля.

Степень разработанности темы исследования по данному направлению заключается в том, что в последнее время активно разрабатываются оптические способы контроля различных технологических параметров изделий. Так, в частности, в текстильной промышленности разрабатываются оптические методы определения и контроля различных показателей текстильных материалов, например, полуфабрикатов прядильного производства, нитей, тканей, трикотажа, нетканых материалов.

Исследования в рассматриваемой области отражены в работах Г.Н. Кукина, А.Н. Соловьева, А.И. Коблякова, А.Г. Севостьянова, Н.А. Осьмина, В.П. Щербакова, В.Ф. Галкина, В.Г. Козлова, В.С. Гиляревского, М.С. Литвинова, А.В. Парамонова, Т.А. Корнюхиной, А.Н. Карасева, С.Г. Журавлева, Г.Ю. Турсуновой, С.Ф. Привалова, А.Н. Могильного, А.В. Гусакова, Н.Н. Труевцева, П.Г. Шляхтенко, А.М. Чельшева, А.Е. Рудина, Ю.Н. Ветровой, Л.В. Струевой, Л.Ф. Ивашиной, Г.П. Мещеряковой, В.В. Лучинкиной, А.Б. Волгина, П.Н. Рудовского, П.А. Сухарева, О.В. Кофнова, Я.И. Золотовой и др.

Целью настоящей научной работы является разработка оптического метода определения показателей величины и направления крутки нитей, базирующегося на плоскополяризованном освещении, который в дальнейшем

планируется использовать как основу для создания датчика контроля технологических параметров нитей в процессе производства.

Задачами данной диссертационной работы являются:

- анализ существующих способов определения показателей числа кручений и направления крутки нитей;
- внесение конструктивных изменений в измерительную установку для снятия угловых диаграмм применительно к нитям при освещении образцов неполяризованным и плоскополяризованным светом с вращающейся плоскостью поляризации;
- изучение зависимости вида угловых диаграмм от величины крутки на модельных образцах нитей в целях обнаружения физических особенностей взаимодействия неполяризованного и плоскополяризованного света с поверхностью крученых нитей;
- исследование взаимосвязи параметров угловых диаграмм с показателями величин и направлений крутки для реальных текстильных нитей, отличающихся технологическими и структурными характеристиками;
- на базе проведенных исследований разработка искомого метода, его обоснование, создание теоретической модели явлений, протекающих при взаимодействии плоскополяризованного света с крученой нитью в предложенном способе;
- отработка и оптимизация на измерительной установке режимов испытаний и алгоритмов построения угловых диаграмм обратного светорассеяния применительно к нитям различной природы и цвета по заявляемому способу;
- сравнение результатов измерений по предложенному методу с результатами измерений по аналоговому и стандартизированному способам;
- разработка рекомендаций, которые необходимо учитывать при создании действующего макета устройства по предложенному способу.

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

- разработан оптический метод определения параметров величины и направления крутки нитей, базирующийся на поляризации света;
- поляризация света выбрана в качестве основы способа, потому что с ее помощью представляется возможным упорядочивать общий световой поток, идущий от источника света, в конкретной плоскости поляризатора при определенном угле поворота исследуемой нити для последующей фиксации и анализа получаемых данных;
- внесены изменения в конструкцию измерительной установки, позволяющей проводить испытания с использованием неполяризованного и плоскополяризованного освещения исследуемых нитей, для реализации предлагаемого и аналогового методов;

- разработано теоретическое описание модели взаимодействия плоскополяризованного света с крученой нитью для предлагаемого метода на основании закона Малюса.

Теоретическая и практическая значимость настоящей научно-исследовательской работы задаётся тем, что на основе теоретической модели и экспериментальных исследований, полученных предлагаемым способом, в дальнейшем, будет разработан и включен в производственную цепь датчик непрерывного мониторинга величины и направления крутки нитей в ходе технологического процесса с возможностью регулирования производства при возникновении отклонений от нормы больше допустимых пределов, характерной для конкретного вида нити. Также планируется использование полученных научных данных и рекомендаций как основы для реализации автоматической системы регулирования технологических процессов производства. Разработанный метод уже использован при выполнении научно-исследовательских работ и в рамках учебного процесса СПбГУПТД.

Методология и методы исследования в настоящей научной работе содержат в себе изучение параметров величины и направлений крутки нитей предлагаемым и аналоговым способами посредством освещения испытываемых объектов поляризованным или неполяризованным потоком света, а также сравнительный анализ с результатами, полученными стандартизированными методиками.

Положения, выносимые на защиту, включают в себя следующие позиции:

- Проведено исследование и анализ связанности вида угловых диаграмм нитей с показателями величины и направлений крутки.

- Изучено и проанализировано соотношение параметров угловых диаграмм светорассеяния реальных нитей с величинами и направлениями круток этих нитей. Предложено определять величину крутки нити через зависимости $\tilde{\chi}(K)$, $S_0(K)$ и $\alpha_0(K)$, а о направлении крутки судить по соотношению показателей $\tilde{U}_{n\pi/4}$ и $\tilde{U}_{n3\pi/4}$, S_1 и S_2 или α_1 и α_2 .

- Выявлены оптимальные режимы измерений и алгоритм построения угловых диаграмм обратного светорассеяния.

- Проведено аналитическое сравнение полученных результатов аналоговым и разработанным методами. Проведен сравнительный анализ между предлагаемым и стандартизированным способами.

Степень достоверности и апробация результатов данной диссертационной работы подтверждены получением патента на изобретение по разработанному методу, докладами в рамках разноуровневых конференций, публикациями в научных изданиях, в том числе относящихся к перечням Web of Science, Scopus, РИНЦ и ВАК.

Общее количество опубликованных работ по теме диссертации – 21, из них 5 публикаций в изданиях, входящих в «Перечень ВАК».

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав с выводами, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 114 страницах, имеет 60 рисунков, 24 таблицы, 3 приложения, список литературы включает 101 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

Первая глава содержит обзор базовых понятий и пояснений по исследуемой тематике, описание основных существующих методик определения показателей числа кручений и направлений крутки нитей.

Вторая глава посвящена разработке оптического способа контроля параметра величины крутки нитей, базирующегося на поляризации света, и проверке работоспособности предлагаемого метода на капроновых нитках.

Основная суть разработанной методики заключается в процессе освещения анализируемой нити плоскополяризованным светом в виде параллельного пучка нормально к её продольной оси. В то же время вращение плоскости поляризации совершается вокруг оси пучка света с частотой ω . Вместе с тем коэффициент изотропии обратного светорассеяния испытываемой нити $\tilde{\chi}$ описывается формулой 1:

$$\tilde{\chi} = \frac{\tilde{\Phi}_{\parallel}}{\tilde{\Phi}_{\perp}} = \frac{\tilde{U}_{\parallel}}{\tilde{U}_{\perp}}, \quad (1)$$

где $\tilde{\Phi}_{\parallel}$ - амплитуда переменной составляющей потока света, варьирующейся с частотой 2ω , который соответствует обратному светорассеянию нити в рамках телесного угла $\Delta\Omega$, находящегося в плоскости, параллельной продольной оси нити, а $\tilde{\Phi}_{\perp}$ - в аналогичной перпендикулярной плоскости; \tilde{U}_{\parallel} и \tilde{U}_{\perp} - значения переменных напряжений, соответствующих $\tilde{\Phi}_{\parallel}$ и $\tilde{\Phi}_{\perp}$. Величину крутки нити K определяют на основании рассчитанного коэффициента $\tilde{\chi}$ и известной зависимости этого показателя от значений K , которая установлена для такого вида нити предложенным способом.

На рисунке 1 представлена схема установки, с помощью которой проводятся испытания, применяя плоскополяризованное ПС (предлагаемый метод) или неполяризованное НС (аналоговый способ) освещение изучаемого объекта.

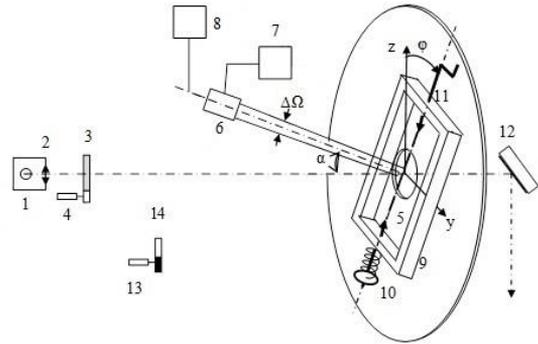


Рисунок 1 – Схема измерительной установки

Исследуемая нить 5 закрепляется в держателе 9. При необходимости нить 5 раскручивается или закручивается ручкой 11. Пружина 10 создает постоянное натяжение нити 5. Световой поток от источника 1 («белый» светодиод) проходит через телескопический объектив 2 и далее через полярноидную пленку 3 (поляризатор), который вращается за счет двигателя 4. После этого световой поток попадает непосредственно на закрепленную нить 5. Держатель 9 с зафиксированной нитью 5 поворачиваются вокруг оптической оси на необходимый угол φ . Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) 6 выполняет роль фотоприемника, который регистрирует рассеянный под углом α к оптической оси в фиксированном телесном угле $\Delta\Omega$ нитью свет. Источником питания для ФЭУ 6 является стабилизированный выпрямитель 7. Универсальный цифровой вольтметр 8 измеряет и показывает значения переменного напряжения с ФЭУ 6. При помощи зеркала 12 отводится в сторону от ФЭУ 6 световой поток, который прошел мимо нити 5. Для проведения испытаний по аналоговому способу блок-система поляризатор-двигатель (3-4) заменяется комбинацией элементов модулятор-двигатель (13-14). Получаемые первичные данные представляют собой числовые значения переменных напряжений, измеряемых для определенных величин угла φ , который задается с шагом 10^0 .

При построении угловых диаграмм обратного светорассеяния проводятся операции нормирования и усреднения первичных данных. Усреднение данных, кроме тех случаев, когда $\varphi=(0;\pi)$ и $\varphi=(\pi/2;3\pi/2)$, осуществляется по формуле 2:

$$\bar{U} = \frac{\tilde{U}_{\varphi} + \tilde{U}_{(\pi-\varphi)} + \tilde{U}_{(\pi+\varphi)} + \tilde{U}_{(-\varphi)}}{4}, \quad (2)$$

где \bar{U} - среднее значение переменного напряжения; \tilde{U}_{φ} , $\tilde{U}_{(\pi-\varphi)}$, $\tilde{U}_{(\pi+\varphi)}$, $\tilde{U}_{(-\varphi)}$ - значения переменных напряжений, когда анализируемая нить находится в положениях, соответствующих углам φ , $(\pi-\varphi)$, $(\pi+\varphi)$, $(-\varphi)$.

Для пар значений $\varphi=(0;\pi)$ и $\varphi=(\pi/2;3\pi/2)$ усреднение первичных данных осуществляется по формулам 3 и 4:

$$\bar{\tilde{U}}_{(0;\pi)} = \frac{\tilde{U}_0 + \tilde{U}_\pi}{2}, \quad \bar{\tilde{U}}_{(\pi/2;3\pi/2)} = \frac{\tilde{U}_{\pi/2} + \tilde{U}_{3\pi/2}}{2}, \quad (3),(4)$$

где $\bar{\tilde{U}}_{(0;\pi)}$, $\bar{\tilde{U}}_{(\pi/2;3\pi/2)}$ - средние значения переменных напряжений для $\varphi=(0;\pi)$ и $\varphi=(\pi/2;3\pi/2)$; \tilde{U}_0 , \tilde{U}_π , $\tilde{U}_{\pi/2}$, $\tilde{U}_{3\pi/2}$ - значения переменных напряжений, когда анализируемая нить находится в положениях, соответствующих углам $\varphi=0,\pi, \pi/2, 3\pi/2$.

Операции нормирования данных осуществляются по формуле 5:

$$\tilde{U}_{ni} = \frac{\tilde{U}_i}{\bar{\tilde{U}}_{(\pi/2;3\pi/2)}}, \quad (5)$$

где \tilde{U}_{ni} - нормированные данные, откладываемые при построении угловой диаграммы; \tilde{U}_i - средние значения переменного напряжения, вычисленные по формулам 2, 3 или 4.

Таким образом, формула 1 примет вид формулы 6:

$$\tilde{\chi} = \frac{\tilde{U}_{n(0;\pi)}}{\tilde{U}_{n(\pi/2;3\pi/2)}} = \frac{\bar{\tilde{U}}_{(0;\pi)}}{\bar{\tilde{U}}_{(\pi/2;3\pi/2)}}, \quad (6)$$

где $\tilde{U}_{n(0;\pi)}$, $\tilde{U}_{n(\pi/2;3\pi/2)}$ - нормированные значения для $\varphi=(0;\pi)$ и $\varphi=(\pi/2;3\pi/2)$.

В качестве модельных объектов выступили нити, скрученные из рыболовных лесок (нейлоновые монопити) различных диаметров и из металлической медной проволоки (металлическая медная монопить). Также были проведены аналогичные измерения на капроновых нитках белого и черного цветов с одинаковым числом сложений и заданными величинами крутки.

Третья глава включает в себя информацию о модификации алгоритмов получения и обработки экспериментальных данных, использовании предлагаемого метода для нитей с различными технологическими и структурными характеристиками, а также теоретическое описание модели разработанного оптического способа.

При построении угловых диаграмм по алгоритму, изложенному в главе 2, невозможно одновременно получить информацию о направлении крутки исследуемой нити. Необходимый эффект достигается тем, что усреднение первичных данных для первой/третьей $\bar{\tilde{U}}_{I,III}$ и второй/четвертой $\bar{\tilde{U}}_{II,IV}$

четвертей в полярной системе координат осуществляется отдельно для каждой пары соответствующих значений по формулам 7 и 8:

$$\bar{U}_{I,III} = \frac{\tilde{U}_{\varphi} + \tilde{U}_{(\pi+\varphi)}}{2}, \quad \bar{U}_{II,IV} = \frac{\tilde{U}_{(-\varphi)} + \tilde{U}_{(\pi-\varphi)}}{2}. \quad (7), (8)$$

Усреднение первичных данных для пар значений $\varphi=(0;\pi)$ и $\varphi=(\pi/2;3\pi/2)$ осуществляется как в главе 2 по формулам 3 и 4. Нормирование полученных данных осуществляется аналогично расчетам главы 2 на основании формулы 5, но с учетом использования в числителе величин средних значений переменных напряжений, вычисленных по формулам 7, 8, 3 или 4. Измерения по предлагаемому и аналоговому методам производятся на той же измерительной установке, и для большей информативности диаграмм проводятся с шагом 5^0 .

На основании результатов, изложенных в главе 2, проведены дополнительные сравнительные исследования, связывающие величину и направление крутки нити с такими параметрами угловой диаграммы, как угол максимального светорассеяния $\alpha_0=\alpha_1+\alpha_2$, где α_1 - угол максимального светорассеяния в I четверти, а α_2 - во II четверти, и площадь под кривой диаграммы $S_0=S_1+S_2$, где S_1 - площадь под кривой диаграммы в I четверти, S_2 - во II четверти. При этом числовые значения S_1 и S_2 определяются с помощью программы AutoCad по соответствующим угловым диаграммам. О направлении крутки исследуемой нити предложено судить по соотношению показателей α_1 и α_2 , S_1 и S_2 , или $\tilde{U}_{n_{\pi/4}}$ и $\tilde{U}_{n_{3\pi/4}}$, где $\tilde{U}_{n_{\pi/4}}$ - величина усредненного нормированного переменного напряжения для $\varphi=\pi/4$, а $\tilde{U}_{n_{3\pi/4}}$ - для $\varphi=3\pi/4$. Величину крутки нити K находят на основании вычисленных показателей угла α_0 , площади S_0 или коэффициента изотропии $\tilde{\chi}$ и известных зависимостей этих параметров от значений K , установленных для такого рода нити предложенным методом.

В рамках главы 3 были испытаны: капроновые белая и черная, вязкая красная (ООО «Моснитки»), хлопковая черная (АО «ПНК им. Кирова»), металлизированная (вязкое волокно - 72%, металлизированный полиэстер - 28%; DMC, Япония) нитки; комплексные нити СВМ, Фенилон, Русар, (кафедра материаловедения и товарной экспертизы СПбГУПТД); нити из технологического цикла производства полиэфирной нитки и из технологических переходов ровница-пряжа, выработанные из полиэфирного штапельного и хлопкового волокон (ООО «Советская звезда»). В таблицах 1-3 приведены экспериментальные данные, полученные аналоговым и предлагаемым методами на примере белой капроновой нитки и технологического цикла изготовления ПЭФ нити, отражающие зависимости $\tilde{\chi}(K)$, $S(K)$ и $\alpha(K)$.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний для зависимости $\tilde{\chi}$ (К)

Обозначение структуры нити	К, кр/м	С _К , %	Плоскополяризованное освещение (ПС)						Неполяризованное освещение (НС)					
			$\tilde{\chi}$	$C_{\tilde{\chi}}$, %	$\tilde{U}_{H_{\pi/4}}$	$\tilde{U}_{H_{3\pi/4}}$	$C_{\tilde{U}_{H_{\pi/4}}}$, %	$C_{\tilde{U}_{H_{3\pi/4}}}$, %	$\tilde{\chi}$	$C_{\tilde{\chi}}$, %	$\tilde{U}_{H_{\pi/4}}$	$\tilde{U}_{H_{3\pi/4}}$	$C_{\tilde{U}_{H_{\pi/4}}}$, %	$C_{\tilde{U}_{H_{3\pi/4}}}$, %
Капроновая белая нитка			$y = 0,00010x + 0,03465; R^2 = 0,98597$						$y = 0,0003x + 0,0504; R^2 = 0,8536$					
R 49,8 tex Z 102 / 3 S	102	4,70	0,043	6,57	0,041	0,215	6,51	7,12	0,109	6,71	0,170	0,203	6,63	7,16
R 49,8 tex Z 204 / 3 S	204	4,40	0,055	6,34	0,035	0,175	6,05	6,51	0,106	6,55	0,187	0,216	6,14	6,82
R 49,8 tex Z 307 / 3 S	307	4,11	0,068	5,16	0,047	0,265	4,93	5,25	0,130	5,23	0,231	0,261	4,96	6,18
R 49,9 tex Z 409 / 3 S	409	4,10	0,075	4,32	0,107	0,466	4,05	4,41	0,174	4,34	0,350	0,384	4,11	5,12
R 50,2 tex Z 516 / 3 S	516	3,09	0,084	3,12	0,326	0,977	2,88	3,22	0,247	3,22	0,560	0,578	2,91	4,17
Полиэфирная комплексная нить														
R 27,5 tex f 64 S 13	13	9,07	0,027	12,15	0,061	0,027	13,18	11,02	0,098	12,93	0,129	0,121	13,24	11,57
Подкрученная полиэфирная комплексная нить														
R 28,7 tex f 64 S 563	563	2,10	0,067	6,92	0,199	0,081	8,54	4,83	0,189	8,60	0,280	0,266	9,19	7,40
Полиэфирная белая нитка														
R 86,1 tex Z 354 / 3 S	354	4,15	0,182	5,37	0,252	0,496	4,76	6,89	0,286	5,68	0,461	0,517	5,33	7,44

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний для зависимости S(К)

Обозначение структуры нити	К, кр/м	С _К , %	Плоскополяризованное освещение (ПС)						Неполяризованное освещение (НС)					
			S ₀ , отн. ед.	C _{S₀} , %	S ₁ , отн. ед.	S ₂ , отн. ед.	C _{S₁} , %	C _{S₂} , %	S ₀ , отн. ед.	C _{S₀} , %	S ₁ , отн. ед.	S ₂ , отн. ед.	C _{S₁} , %	C _{S₂} , %
Капроновая белая нитка			$y = 1,8707x + 32,505; R^2 = 0,9438$						$y = 2,0958x + 327,65; R^2 = 0,9256$					
R 49,8 tex Z 102 / 3 S	102	4,70	301,90	7,80	100,39	201,51	7,61	7,86	650,09	9,78	296,37	353,72	9,74	9,86
R 49,8 tex Z 204 / 3 S	204	4,40	373,72	7,63	131,80	241,92	6,88	7,81	693,90	9,60	335,12	358,78	9,15	9,67
R 49,8 tex Z 307 / 3 S	307	4,11	538,92	6,34	186,79	352,14	6,15	6,70	840,63	8,43	390,52	450,11	7,96	8,71
R 49,9 tex Z 409 / 3 S	409	4,10	743,94	5,12	213,80	530,14	4,75	5,65	1197,89	7,27	567,85	630,04	6,80	7,52
R 50,2 tex Z 516 / 3 S	516	3,09	1081,14	4,42	300,33	780,82	4,14	4,76	1479,11	6,44	721,83	757,28	6,21	6,56
Полиэфирная комплексная нить														
R 27,5 tex f 64 S 13	13	9,07	253,07	12,96	157,52	95,54	13,85	11,11	320,71	13,37	176,02	144,68	14,02	11,93
Подкрученная полиэфирная комплексная нить														
R 28,7 tex f 64 S 563	563	2,10	719,82	4,02	445,08	274,74	5,25	3,60	832,54	9,01	435,76	396,78	9,40	8,86
Полиэфирная белая нитка														
R 86,1 tex Z 354 / 3 S	354	4,15	1058,21	5,55	346,78	711,43	5,21	8,53	1207,98	8,49	580,11	627,88	7,21	9,75

Таблица 3 – Результаты сравнительных испытаний для зависимости α (К)

Обозначение структуры нити	К, кр/м	С _К , %	Плоскополяризованное освещение (ПС)						Неполяризованное освещение (НС)					
			α_0 , град.	C α_0 , %	α_1 , град.	α_2 , град.	C α_1 , %	C α_2 , %	α_0 , град.	C α_0 , %	α_1 , град.	α_2 , град.	C α_1 , %	C α_2 , %
Капроновая белая нитка			$y = 0,1114x - 5,2802; R^2 = 0,9674$						$y = 0,0924x - 7,4117; R^2 = 0,7463$					
R 49,8 tex Z 102 / 3 S	102	4,70	10	10,32	-	5	-	10,41	10	10,54	-	5	-	10,63
R 49,8 tex Z 204 / 3 S	204	4,40	15	10,07	-	10	-	10,15	10	10,22	-	5	-	10,31
R 49,8 tex Z 307 / 3 S	307	4,11	25	9,76	-	15	-	10,11	10	9,91	-	5	-	10,14
R 49,9 tex Z 409 / 3 S	409	4,10	40	9,21	-	20	-	9,28	25	9,40	-	15	-	9,56
R 50,2 tex Z 516 / 3 S	516	3,09	55	8,10	-	30	-	8,22	50	8,18	-	25	-	8,29
Полиэфирная комплексная нить														
R 27,5 tex f 64 S 13	13	9,07	10	13,15	5	-	15,36	-	10	13,20	5	-	15,36	-
Подкрученная полиэфирная комплексная нить														
R 28,7 tex f 64 S 563	563	2,10	25	8,84	15	-	10,25	-	30	9,14	15	-	10,38	-
Полиэфирная белая нитка														
R 86,1 tex Z 354 / 3 S	354	4,15	35	10,10	-	20	-	10,22	45	10,38	-	25	-	10,61

В качестве примера на рисунках 2-3 представлены диаграммы белой капроновой нитки, построенные с учетом модификаций алгоритмов.

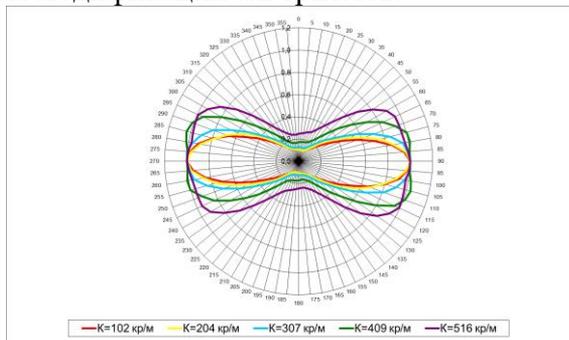
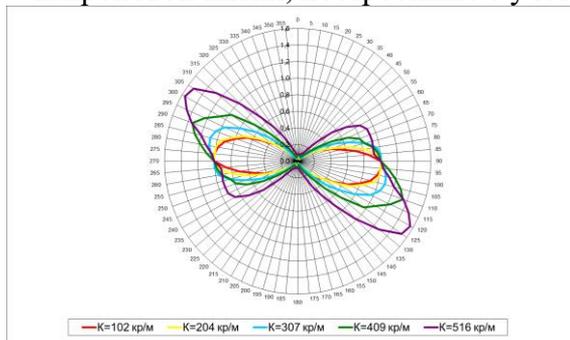


Рисунок 2 - Диаграммы в случае ПС

Рисунок 3 - Диаграммы в случае НС

В таблице 4 представлен анализ разброса величин круток нитей K , найденных предлагаемым и стандартизированным методами.

Таблица 4 – Результаты сравнительных испытаний предлагаемым и стандартизированным способами

Наименование нити	K , кр/м предлагаемый метод	K , кр/м стандартизированный метод	C , %
Капроновая белая нитка	409	413	0,49
$\tilde{\lambda}(K)$	404		1,10
$S_o(K)$	380		4,16
$\alpha_o(K)$	407		0,73
Полиэфирная комплексная нить	13	10	13,04
Подкрученная полиэфирная комплексная нить	563	570	0,62
Полиэфирная белая нитка	354	350	0,57

На базе проведенных исследований разработана теоретическая модель происходящих в предлагаемом методе явлений. Естественный свет становится частично поляризованным, когда он отражается от границы двух диэлектриков. В соответствии с конструктивными особенностями применяемой измерительной установки угол падения света на анализируемый объект меньше угла Брюстера, поэтому отраженный от предмета изучения свет не полностью поляризован. Также общеизвестно, что интенсивность вышедшего после поляризатора светового потока соответствует половине интенсивности изначально падающего на поляризатор света. Закон Малюса описывает случай изменения интенсивности светового потока для системы поляризатор-анализатор. В нашем случае, роль анализатора (второго поляризатора) выполняет исследуемая нить. Основываясь на вышеописанном, изменение интенсивности света для предлагаемого метода принимает вид формулы 9:

$$I_3 = \frac{I_0}{2} + I_1 \cos^2 \varphi, \quad (9)$$

где I_3 – интенсивность света, образованного преимущественно после отражения от исследуемой нити; I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор; I_1 – интенсивность света, который уже является плоскополяризованным и поступает на анализатор; φ - угол, образующийся в зависимости от взаимной ориентации главных плоскостей поляризатора и анализатора. С учетом показателей угловой скорости вращения плоскости поляризации и времени, формула 9 записывается в виде формулы 10:

$$I_3 = \frac{I_0}{2} + I_1 \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}, \quad (10)$$

где I_3 – интенсивность света, образованного преимущественно после отражения от исследуемой нити; I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор; I_1 – интенсивность света, который уже является плоскополяризованным и поступает на анализатор; ω – угловая скорость вращения плоскости поляризации; t – время. Аналогичное выражение приведено в работе Шляхтенко П.Г. Таким образом, геометрическая структура исследуемой нити характеризуется амплитудой переменного сигнала с частотой 2ω .

Общим для исследованных объектов главы 3 является:

- Угловые диаграммы, построенные на основании модифицированных алгоритмов и посредством предлагаемого метода, показали самую высокую информативность.

- В случае применения предлагаемого метода для нитей разных типов с направлением крутки S выполняются неравенства величин $\tilde{U}_{n_{\pi/4}} > \tilde{U}_{n_{3\pi/4}}$, $S_1 > S_2$, и максимум пики угловой диаграммы обратного светорассеяния относится к I четверти и описывается углом α_1 , а для Z -крутки характерны обратные соотношения, но в аналоговом способе обнаруженные закономерности выполняются не всегда.

- С возрастанием упорядоченности структуры по ходу технологических процессов и увеличением крутки нитей K постепенно растут показатели $\tilde{\chi}$, S_0 и α_0 для всех рассмотренных случаев при использовании предлагаемого метода, а в аналоговом способе данные зависимости не выполнялись для всех изученных объектов.

- Предлагаемый метод более чувствительный, полученные для него зависимости $\tilde{\chi}(K)$, $S_0(K)$ и $\alpha_0(K)$ обладают большей линейностью, коэффициенты детерминаций выше по сравнению с аналоговым способом.

- Для вариантов предлагаемого способа, основанных на показателях S_0 , S_1 , S_2 , α_0 , α_1 , α_2 необходима диаграмма с целью вычисления этих величин, а для

варианта метода на основании характеристик $\tilde{\chi}$, $\tilde{U}_{n_{\pi/4}}$, $\tilde{U}_{n_{3\pi/4}}$ достаточно проводить измерения восьми соответствующих контрольных точек.

- Коэффициенты вариаций S принимают значения в пределах нормы, что свидетельствует об однородности полученных данных.

Общие выводы:

1. Разработан оптический метод определения параметров величины и направления крутки нитей, в основе которого заложена поляризация света.
2. Измерительная установка сконструирована таким образом, чтобы реализовывать предлагаемый и аналоговый способы.
3. Отработаны режимы измерений, алгоритмы обработки получаемых данных и построения угловых диаграмм применительно к нитям.
4. Предложены показатели, на основании которых представляется возможным делать выводы о величине и направлении крутки нитей.
5. Проведено сопоставление данных, найденных сравниваемыми методами.
6. Доказана применимость предлагаемого метода для нитей с отличающимися технологическими и структурными характеристиками.
7. Разработано теоретическое описание модели предлагаемого метода.
8. Сформулированы рекомендации по итогам работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работоспособность предлагаемого метода проверена на нитях с различными заданными параметрами, разных технологических этапов, от ряда производителей и подтверждена выдачей патента на изобретение РФ (Пат. 2463579).

Известно, что показатели величины и направления крутки нитей значительно влияют на свойства нитей и изделий, которые получают из них и с их применением. Существующие способы определения данных характеристик не получили широкого применения, а используемый стандартизированный метод носит разрушающий характер и не может быть использован в процессе производства. С учетом ассортимента выпускаемой в последние годы прядельно-ниточной продукции, перспективней разрабатывать и внедрять в системы автоматического регулирования производства, неразрушающие ресурсосберегающие оптические методы контроля, что обусловлено быстродействием оптических способов и разнообразной сложной структурой современных изделий, которую не представляется возможным контролировать и определять традиционными применяемыми методиками и непосредственно в процессе производства.

Стоит также отметить перспективность применения предлагаемого метода для иных волоконсодержащих материалов и изделий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в «Перечень ВАК»:

1. **Литвак, И.И.** Угловые диаграммы обратного светорассеяния крученых нитей / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, Ю.Н. Ветрова, А.Е. Рудин // Известия Вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – Т.15. – № 1. – С. 13-17.
2. **Литвак, И.И.** Оптический способ контроля величины механической крутки нитей / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, Ю.Н. Ветрова, А.Е. Рудин // Известия Вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – Т.16. – № 2. – С. 10-12.
3. **Литвак, И.И.** Зависимость вида угловых диаграмм обратного светорассеяния от направления крутки нитей / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, Ю.Н. Ветрова, А.Е. Рудин // Химические волокна. – 2013. – № 5. – С. 54-56.
4. **Литвак, И.И.** Построение и анализ угловых диаграмм обратного светорассеяния от крученой нити при различных условиях её освещения / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, Ю.Н. Ветрова, А.Е. Рудин // Известия Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 1 (349). – С. 23-27.
5. **Litvak, I.I.** Dependence of Type of Angular Diagrams of Light Backscattering on Direction of Yarn Twist / I.I. Litvak, P.G. Shlyakhtenko, Yu.N. Vetrova, A.E. Rudin // Fibre Chemistry. – 2014. – № 45(5). – PP. 314-316.

Прочие публикации:

6. **Литвак, И.И.** Исследование зависимости обратного светорассеяния капроновых нитей от величины крутки в поляризованном свете / И.И. Литвак, Ю.Н. Ветрова // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК - 2011): сб. материалов межвузовской науч.-технич. конф. аспирантов и студентов. Часть 2. – Иваново: ИГТА, 2011. – С. 175-176.
7. **Литвак, И.И.** Исследование угловых диаграмм обратного светорассеяния крученых нитей при различных условиях освещения / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин, Ю.Н. Ветрова // Современные вопросы науки – XXI век: сб. науч. тр. по материалам VII междунар. науч.-практ. конф. (29 марта 2011 г.). Часть 3. – Тамбов: Изд-во Тамбовского областного института повышения квалификации работников образования, 2011. – № 7. – С. 86-88.
8. **Пат. 2463579 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 N 21/21.** Оптический способ контроля крутки нитей / Шляхтенко П.Г., Ветрова Ю.Н., Рудин А.Е., Литвак И.И.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна». - № 2011118765/28; заявл.10.05.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 28 – 10 с. : ил.

9. **Литвак, И.И.** Исследование применения оптического метода оценки крутки нитей / И.И. Литвак, О.М. Кольцова, Ю.Н. Ветрова // *Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых* / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2012. – С. 102-103.

10. **Литвак, И.И.** Построение и сравнительный анализ зависимости вида угловых диаграмм обратного светорассеяния нити от величины крутки / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин, Ю.Н. Ветрова // *Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (29 октября 2012 г.): в 12 частях. Часть 11; М-во обр. и науки РФ. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – С. 64-66.*

11. **Литвак, И.И.** Оптический метод неразрушающего контроля крутки нитей / И.И. Литвак, Ю.Н. Ветрова, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // *Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий («ЛЕН – 2012»): сб. материалов междунар. науч.-технич. конф. – Кострома: КГТУ, 2012. – С. 60-61.*

12. **Литвак, И.И.** Оптический способ контроля величины и направления крутки нити / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // *Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых* / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013. – С. 189.

13. Заявка 2012143569 Российская Федерация, МПК⁷ D 01 H 13/32. Способ контроля крутки нити (варианты) / Шляхтенко П.Г., Рудин А.Е., Кольцова О.М., Литвак И.И.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»; пат. поверенный Надточеева В.М. - № 2012143569/12; заявл.11.10.12; опубл. 20.04.14, Бюл. № 11.

14. **Литвак, И.И.** Исследование применения для комплексных нитей оптического метода определения величины и направления крутки / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // *Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых* / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2014. – С. 226.

15. **Литвак, И.И.** Анализ угловых диаграмм обратного светорассеяния комплексных нитей / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // *Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (28 февраля 2015 г.): в 13 частях. Часть 11. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 101-102.*

16. **Литвак, И.И.** Исследование полиэфирной нити оптическими методами на последовательных стадиях её производства / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // *Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос.*

науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2015. – С. 177-178.

17. **Литвак, И.И.** Исследование применения оптического метода определения величины и направления крутки нитей для пряжи / И.И. Литвак, П.Г. Шляхтенко, А.Е. Рудин // Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т пром. технологий и дизайна. – СПб.: СПГУТД, 2016. – С. 299-300.

18. **Литвак, И.И.** Анализ угловых диаграмм обратного светорассеяния нитей с четным и нечетным числом сложений / И.И. Литвак // Актуальные вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (30 июня 2016 г.) Часть 2. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2016. – С. 72-74.

19. **Ивлева (Литвак), И.И.** Современные тенденции прядельно-ниточной индустрии [Электронный ресурс] / И.И. Ивлева (Литвак) // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: матер. XI междунар. науч.-практ. конф. вузов России / СПбГУПТД. - ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2019. – С. 318-326. – Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=2019188, по паролю. – Загл. с экрана.

20. **Ивлева (Литвак), И.И.** Анализ применения оптического метода определения величины и направления крутки нитей для ровницы / И.И. Ивлева (Литвак) // Вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. (30 декабря 2019 г.). Часть 1. – Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2019. – С. 55-56.

21. **Ивлева (Литвак), И.И.** Определение направления крутки нитей через параметры угловой диаграммы обратного светорассеяния / И.И. Ивлева (Литвак) / Вестник научных конференций.: сб. науч. материалов по итогам международной науч.-практ. конф. «Современное общество, образование и наука» (31 августа 2020 г.) Часть 1. – Тамбов, 2020 г. – № 8-1(60). – С. 38-39.