

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ТОНКИХ ВОЛОКОН ДИФРАКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Чжан Жуйчжи, Фёдоров Евгений Михайлович

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск*

E-mail: fem@mail.ru

MEASUREMENT OF THIN FIBER DIAMETER BY THE DIFFRACTION METHOD

Zhang Ruizhi., Fedorov Evgeny Mihaylovich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация. В статье описан метод контроля диаметра тонких протяжённых объектов на основе эффекта дифракции. Описан способ, позволяющий минимизировать влияние на результат измерения мешающих факторов, таких как чрезмерная засветка области центрального максимума. Предложен и опробован вариант технической реализации лабораторного образца дифракционного измерителя, оценены его метрологические характеристики.

Abstract: The article describes a method for controlling the diameter of thin long objects based on the diffraction effect. A method is described that allows minimizing the influence on the measurement result of interfering factors, such as excessive illumination of the region of the central maximum. A variant of the technical realization of a laboratory sample of a diffraction meter was proposed and tested, and its metrological characteristics were evaluated.

Ключевые слова: тонкие волокна, дифракционный метод.

Keywords: thin fiber, diffraction method.

Измерение диаметра тонких (10 – 300 мкм) протяжённых изделий, таких как волокна, нити, тонкие проволоки и т.п. является чрезвычайно актуальной задачей. Для повышения точности измерения диаметра тонких проводов используют явление дифракции света. Луч света, огибая тонкое изделие, создает дифракционную картину, которая является функцией диаметра (рис. 1). Многоэлементный приёмник преобразует дифракционную картину в электронные сигналы, которые затем преобразуются в значение диаметра. Чем тоньше изделие, тем чётче дифракционная картина и выше точность измерения. Данный метод может быть реализован как самостоятельно в измерителях диаметра изделий малого и сверхмалого сечения, так и в качестве вспомогательного инструмента уменьшения погрешности существующих измерителей диаметра, основанных на теневых методах измерения [1, 2]. Методы, использующие эффект дифракции, для определения размеров сверхтонких непрозрачных объектов в частности волокон диаметром до нескольких сотен микрон известны давно и описаны в работах [3 – 5].

1. Расчет диаметра по дифракционной картине

Согласно принципу Бабинне, когда нить освещается параллельным пучком, дифракционный эффект будет таким же, как у щели, и на принимающем экране получаются одни и те же яркие и темные полосы. Поэтому математические выражения для расчёта параметров тонкой щели справедливы и для тонких непрозрачных объектов таких как тонкие проволоки волокна и нити.

На рис. 1 показана схема лазерного дифракционного измерителя, где 1 – это полупроводниковый лазер, 2 – объект контроля с диаметром сечения d , 3 – плоскость многоэлементного фотоприёмника на котором фиксируется дифракционная картина, φ - угол дифракции, X – расстояние от нулевого максимума до максимума n -го порядка, S – расстояние между соседними максимумами.

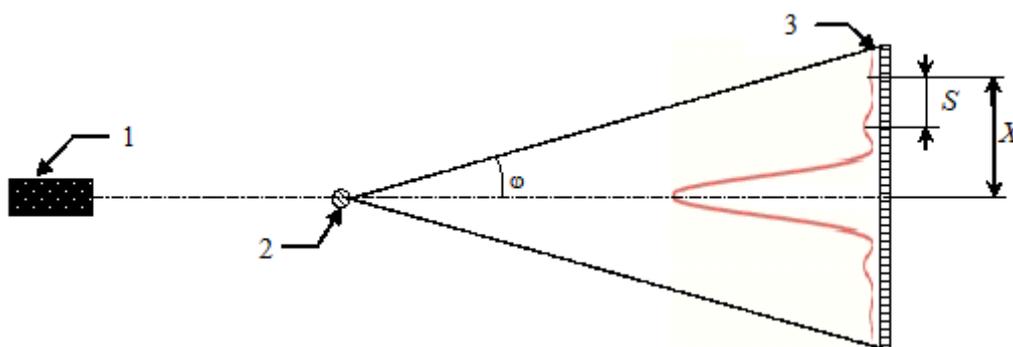


Рис. 1. Расчёт диаметра по параметрам дифракционных полос:

1 - лазер; 2 – объект контроля; 3 – многоэлементный приёмник с формирующейся на нём дифракционной картиной.

При $L \gg \frac{d^2}{\lambda}$ будет наблюдаться дифракция Фраунгофера, распределение интенсивности на экране наблюдения будет определяться выражением:

$$I = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin(\varphi)}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi d \sin(\varphi)}{\lambda}\right)^2}$$

Диаметр объекта будет рассчитываться по следующим выражениям:

$$d = \frac{kL\lambda}{X_k} = \frac{L\lambda}{S} \quad (1)$$

где S - интервал дифракционных полос, X_k расстояние от нулевого максимума до максимума k -го порядка, λ - длина волны падающего света.

Детектирование максимумов первого второго и последующих порядков в данном преобразователе затруднительно, так как их интенсивность более чем на порядок меньше интенсивности максимума нулевого порядка. Это требует использования многоэлементных приёмников со значительно более широким динамическим диапазоном и применения аналого-цифровых преобразователей

с большей разрядностью, что значительно усложняет и удорожает конструкцию измерителя.

2 Техническая реализация экспериментальной установки для измерения диаметра волокон

На рис. 2 представлена структурная схема измерительного макета, реализующая лазерный дифракционный измеритель тонких нитей.

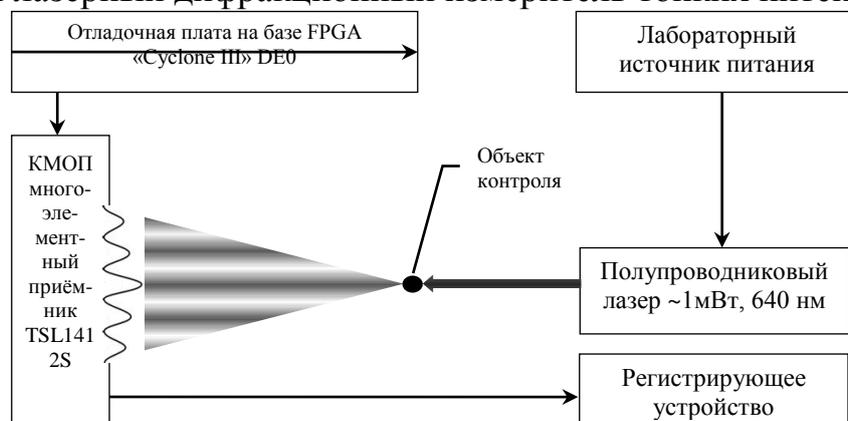


Рис. 2. Структурная схема макета дифракционного измерителя

В качестве источника излучения в установке применён лазерный диод мощностью около 1 мВт и длиной волны 640 нм. Диод освещает измеряемое волокно, за которым формируется интерференционная картина. Для её фиксации применён многоэлементный КМОП сенсор TSL1412S длиной 100 мм и величиной ячейки 40 мкм. Сенсор находится под управлением отладочной платы DE0 на базе FPGA Altera Cyclone III. Видеосигнал формируемый многоэлементным приёмником фиксировался при помощи осциллографа. Внешний вид компонентов экспериментальной.

Описанный макет позволяет интерпретировать дифракционную картину по взаимному расположению минимумов и максимумов и вычислять диаметр волокна. Проблему представляет центральный максимум интенсивности которого выходит далеко за пределы динамического диапазона сенсора. Основная энергия дифракционных полос, создаваемых дифракцией измеренных нитей, сосредоточена в полосе нулевого порядка, как показано на рисунке 2. Чтобы избежать насыщения ПЗС и расширить динамический диапазон измерений дифракционных полос, нами предложено использование специального светозащитного барьера (См. рис. 3) для исключения дифракционного пучка нулевого порядка.

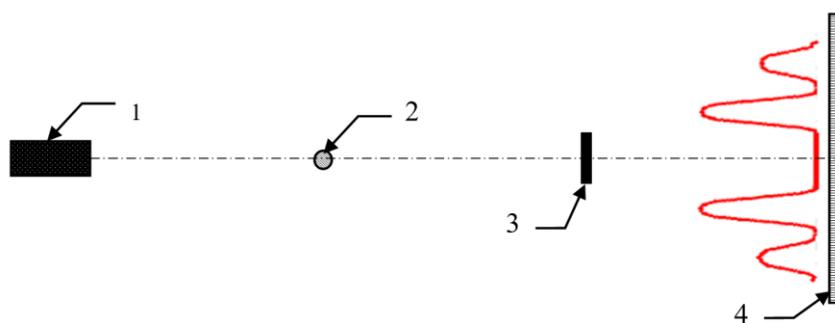


Рис. 3. Расчёт диаметра по параметрам дифракционных полос.

Схема реализации предложенного дифракционного преобразователя (рис. 3) включает, как и в предыдущем случае, полупроводниковый лазер 1, объект контроля 2 и многоэлементный приёмник 4. Существенным отличием является наличие непрозрачного барьера 3, который вырезает из дифракционной картины центральный максимум нулевого порядка, что позволяет с гораздо большей достоверностью определять положения остальных экстремумов и по этим данным рассчитывать диаметр измеряемого объекта.

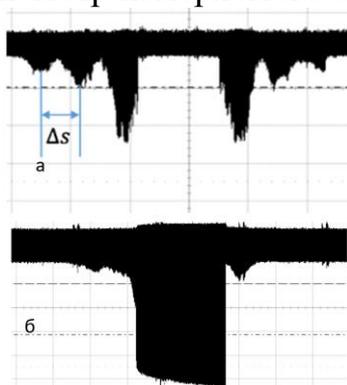


Рис. 4. Дифракционная картина, полученная многоэлементным приёмником:

а – с непрозрачным барьером, *б* – без непрозрачного барьера.

В качестве объектов для измерения и проверки теории были взяты несколько образцов тонкого провода и образец человеческого волоса. Для получения эталонных значений диаметра образцы были измерены при помощи стандартного измерительного микроскопа «название микроскопа» с погрешностью измерения 1 мкм. Измерения проводились трижды для каждого образца с последующим получением среднего значения диаметра. Далее при помощи экспериментальной установки (рис. 2) были получены параметры дифракционной картины для каждого из экспериментальных образцов в частности расстояния между соседними экстремумами рис 4 а. Используя измеренные параметры дифракционной картины с помощью выражения (1) был рассчитан диаметр для каждого образца. Результаты измерения представлены в таблице. Для сравнения на рис. 4 б представлена осциллограмма дифракционной картины от измеряемого объекта без установки непрозрачного

барьера. Как видно значение интенсивности света сосредоточенной в центральном максимуме выходит за границы динамического диапазона используемого многоэлементного приёмника, что приводит к невозможности детектирования дифракционной картины и измерения её параметров.

Таблица. Результаты сравнения измерений образцов прямым и дифракционным методами

	Образец	Диаметр рассчитанный (мм)	Диаметр измеренный микроскопом (мм)	Погрешность δ (%)
1	человеческий волос	0.0928	0.093	0.2%
2	проволока	0.0389	0.039	0.033%
3	проволока	0.0529	0.053	0.18%

Погрешность, полученная при сравнении результатов прямых измерений образцов и измерений при помощи предложенного метода, не превышает 0.2%, что является хорошим результатом и позволяет говорить о хорошей согласованности теоретических и экспериментальных данных, а так же о потенциальной применимости предложенного метода для проектировании приборов для измерения протяженных объектов с малым диаметром.

Заключение.

В работе был рассмотрен дифракционный метод контроля для Протяжённых изделий малых диаметров и предложены технические решения, позволяющие получить приемлемые эксплуатационные и метрологические характеристики. Предложено применение непрозрачного барьера, позволяющего эффективно решить эту проблему. Предложенные решения могут быть применены для проектирования высокоточных бесконтактных технологических приборов контроля для кабельной, трубной и других областей индустрии.

Список литературы

1. Jinhuan L., Osami S. and Takamasa S. Measurement of diameter of metal cylinders using a sinusoidally vibrating interference pattern// Optics Communications. – 2006. – Vol. 260, – Is. 2, – С. 398-402.
2. Toenshoff H. K., Tuennermann A., Korthals J., SPIE, Use of Fresnel diffraction for the measurement of rotational symmetrical workpieces // Proceedings spie the international society for optical engineering. – 1999. – №3784. – С. 334-343.
3. Patent N EP 0924493 B1. Measurement of diameter using diffraction borders and electronic soilingcorrection// Adrian Beining, Werner Dr.-Ing. Blohm, Harald Sikora. 2002.

4. Chi-Tang Li James V Tietz. Improved accuracy of the laser diffraction technique for diameter measurement of small fibres// J Mater Sci. –1990. –25(11). – с 4694–8.

5. Sun Dingyuan, Zhou Guixian, Liu Dan, Measurement of Filament by Diffraction Method// Instrument technique and sensor. – Vol. 45. – November 1997, – С. 2007-2012.

УДК 614.8.02.551.504.05(1-22)(571.52)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РИСКОВ В ТЕС-ХЕМСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Чиkey Эртине Намдалович

*Национально исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск*

E-mail: chikei92@mail.ru

TO THE QUESTION OF DETERMINING TERRITORIAL RISKS IN THE TEN-KHEMSK REGION OF THE REPUBLIC OF TYVA

Chikey Ertine Namdalovich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Анотация: На основании обзорных туров, анализа статистических данных и действующей документации, предложена оценка территориальных рисков Тес-Хемского района Республики Тыва. Исследованы наиболее опасные места возникновения лесных пожаров и наводнений. Проведено картирование установленных рисков.

Abstract: Based on survey tours, analysis of statistical data and existing documentation, an assessment of the territorial risks of the Tes-Khem region of the Republic of Tuva is proposed. The most dangerous places of occurrence of forest fires and floods are investigated. The mapping of established risks was carried out.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, картирование риска, лесные пожары, наводнения, территориальные риски.

Keywords: emergency, risk mapping, forest fires, floods, territorial risks.

Проведение анализа территориальных рисков и их картирование является актуальной темой результатом изучения, которой могут быть мероприятия, направленные на минимизацию территориальных рисков и снижению их возможных последствий.

Темой данного исследования явилось выявление территориальных рисков в тес-хемском районе республики тыва.

Проведем оценку территориальных рисков природно-техногенного и биолого-социального характера на примере Тес-Хемского района Республики Тыва. Величину риска будем оценивать по следующей градации: высокий (значительный), средний, низкий [1].

Анализ рисков, связанных с лесными пожарами в Тес-Хемском районе Республики Тыва представлен на рис. 1.