

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

О. В. КОФНОВ

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,  
199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: kofnov@mail.ru*

Рассмотрены вопросы математического моделирования процесса контроля геометрических параметров структур различных материалов, состоящих из повторяющихся элементов, с использованием дифракционных методов.

**Ключевые слова:** моделирование, дифракция, контроль, анализ.

**Введение.** Наблюдаемая структура поверхности различных материалов представляет собой совокупность одинаковых элементов малых размеров. Например, в тканях это — повторяющиеся переплетения нитей утка и основы [1], в катушках индуктивности — витки проволоки [2], на поверхности деталей машин — повторяющаяся последовательность шероховатостей [3]. От геометрии микроструктур зависят физические и эксплуатационные характеристики самих материалов. В частности, расстояние между соседними нитями определяет плотность и воздухопроницаемость ткани. В процессе намотки катушки индуктивности из-за натяжения провода происходит изменение диаметра его сечения, что влияет на величину электрического сопротивления. Средний шаг неровностей определяет шероховатость поверхности. Все эти параметры необходимо контролировать. Отклонение геометрических параметров от установленных норм свидетельствует о неисправности технологического оборудования. Таким образом, актуальным является создание системы автоматизированного контроля геометрических параметров микроструктур.

В работе [4] указано, что наиболее перспективно для системы бесконтактного неразрушающего контроля структуры текстильных материалов использование оптических методов, основанных на эффекте дифракции света. Однако дифракционные методы контроля могут применяться не только для всех волокносодержащих материалов [4], но и для любых структур, при воздействии на поверхности которых лучом монохроматического света будет наблюдаться явление дифракции.

**Модель процесса контроля.** В основу моделирования процесса дифракционного контроля положена идея математического моделирования самого процесса дифракции. Общий принцип изложенных в работе [4] методов заключается в освещении исследуемого образца материала монохроматическим излучением (обычно лучом гелий-неонового лазера). На экране отражается полученная дифракционная картина. По взаимному расположению дифракционных максимумов можно определить структуру поверхности материала и ее геометрические параметры (расстояние между нитями в ткани, расстояние между петлями в трикотаже, угол и направление кручения швейной нити и пр.). Однако само явление дифракции в приближении Фраунгофера может быть математически смоделировано с использованием интеграла

Френеля—Кирхгофа [5]. В качестве исходных данных для моделирования дифракционной картины можно использовать цифровую фотографию структуры исследуемого материала [6]. В результате моделирования будет получено цифровое изображение дифракционной картины материала, которое может быть использовано в известных методах контроля [4].

Упрощенная схема процесса контроля в случае моделирования изображения дифракционной картины на компьютере представлена на рисунке.



Полученное с помощью цифровой фотокамеры при увеличении микроскопом изображение материала передается в блок моделирования дифракционной картины. Блок представляет собой компьютерную программу, рассчитывающую амплитуду светового сигнала в каждой точке изображения дифракционной картины [6]. Результатом работы является цифровое изображение дифракционной картины, аналогичное тому, что могло быть получено на удаленном экране при непосредственном освещении образца материала лучом лазера. Далее полученный массив точек различной яркости передается в блок определения взаимного расположения дифракционных максимумов, находящий расстояния между экстремумами яркости. Среднее расстояние между соседними дифракционными максимумами обратно пропорционально среднему расстоянию между периодическими элементами в изображении исследуемого образца [4, 6]. Расчет истинных расстояний между элементами с учетом увеличения микроскопа выполняет блок определения геометрических параметров структуры. В последнем блоке полученные значения параметров материала сравниваются с контрольными, устанавливаемыми технологом и учитывающими требования к качеству исследуемого образца. Все описанные блоки могут быть реализованы в виде единой компьютерной программы.

Если в исходной структуре присутствуют периодические элементы, то на ее изображении должны присутствовать наборы точек с повторяющейся интенсивностью, а кроме того — точки с хаотичными выбросами интенсивности, соответствующие неповторяющимся микродефектам и прочим особенностям структуры. Дифракция Фраунгофера на микроструктурах дает возможность реализовать модель контроля, позволяющую на удаленном экране после освещения периодического образца монохроматическим излучением отображать ряды дифракционных максимумов, соответствующие периодическим элементам исходной структуры. Важным отличием предлагаемого метода является замена физической установки, использующей лазер, компьютерной программой, численно моделирующей явление дифракции. Результаты такого моделирования могут быть переданы блокам анализа без искажения, неизбежно возникающего при воспроизведении дифракционной картины на экране, имеющем некоторую собственную неоднородность поверхности [4].

В работе [7] описаны исследования по определению как линейных (среднее расстояние между соседними нитями), так и угловых (угол кручения витков текстильной нити) геометрических параметров видимой структуры материалов. Угол кручения нити связан с величиной крутки и определяет прочность нити [1]. Ошибка определения линейных параметров не превышает 0,2 %, ошибка определения угла кручения составляет 3 %. Аналогичный метод может быть применен для определения диаметра провода и угла намотки в катушке индуктивности, определения среднего шага неровностей других материалов.

Важным преимуществом дифракционных методов контроля является то, что они бесконтактные и неразрушающие. Математическое моделирование дифракции позволяет отказаться от использования лазера и экрана для проецирования дифракционной картины.

**Заключение.** Использование автоматизированных систем бесконтактного контроля, базирующихся на методах численного моделирования физических процессов, позволяет существенно снизить трудоемкость контроля качества производимой продукции [4, 7]. Появление современных высокопроизводительных компьютеров позволило моделировать дифракцию света для микроструктур произвольной формы, вычислив интеграл Френеля—Кирхгофа [6]. Технология цифровой фотографии упростила получение изображения исходной структуры. Это позволяет для контроля геометрических параметров микроструктуры материалов вместо оптических установок, состоящих из лазеров и датчиков рассеянного света, использовать цифровые фотокамеры и персональные компьютеры с программным обеспечением моделирования дифракционных картин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Давыдов А. Ф.* Текстильное материаловедение. М.: Рос. заоч. ин-т текстил. и лег. пром-сти, 1997. 168 с.
2. *Ларин В. П.* Технология намотки в приборо- и электроаппаратостроении. СПб: СПбГУАП, 2003. 56 с.
3. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя / Под ред. *И. Н. Жестковой*. М.: Машиностроение, 2001.
4. *Шляхтенко П. Г.* Оптические методы контроля параметров волоконсодержащих материалов. Контроль структуры текстильных материалов. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 347 с.
5. *Шляхтенко П. Г., Пименов В. И., Кофнов О. В.* Использование двумерного дискретного преобразования Фурье для компьютерного анализа материала с повторяющейся структурой // Автоматизация. Современные технологии. 2013. № 7. С. 20—27.
6. *Кофнов О. В.* Система компьютерного моделирования дифракции для измерения геометрических параметров структуры текстильных материалов // Вестн. Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1. Естественные и технические науки. 2014. № 2. С. 38—45.

#### Сведения об авторе

**Олег Владимирович Кофнов**

— соискатель; СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: kofnov@mail.ru

Рекомендована лабораторией  
информационных технологий  
в системном анализе  
и моделировании

Поступила в редакцию  
21.08.15 г.

**Ссылка для цитирования:** *Кофнов О. В.* Моделирование процесса контроля периодических структур с применением автоматизированных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 10. С. 855—858.

#### MODELING THE PROCESS OF PERIODIC STRUCTURE CONTROL USING AUTOMATED SYSTEM

**O. V. Kofnov**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,  
199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: kofnov@mail.ru*

The questions of mathematical modeling of geometrical parameters checkup using diffraction methods for structures of different materials consisting of repetitive elements are considered.

**Keywords:** modeling, diffraction, checking, analysis.

**Data on author**

**Oleg V. Kofnov** — St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; E-mail: kofnov@mail.ru

**For citation:** *Kofnov O. V.* Modeling the process of periodic structure control using automated system // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 10. P. 855—858 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-10-855-858