

УДК 681.7.004.89

КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТИ**Олифер В. А., Савкова Е. Н., Фёдорцев Р. В.***Белорусский национальный технический университет**Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье рассматриваются актуальность использования оптических деталей. Представлены способы контроля качества изображения, воспроизводимого оптическими системами. Рассмотрена актуальность и доступность распознавания интерференционных картин нейросетью MatLab R2021a. Также представлен шаблон работы в данной программной среде. Приведены основные достоинства использования нейросети.

Ключевые слова: оптические детали, оптические системы, методы контроля, интерференционный метод, нейросеть.

CONTROL OF SURFACE SHAPE AND CURVATURE RADII USING A NEURAL NETWORK**Olifer V., Savkova E., Fedortsev R.***Belarusian National Technical University**Minsk, Republic of Belarus*

Annotation. The article discusses the relevance of the use of optical parts. The methods of image quality control reproduced by optical systems are presented. The relevance and accessibility of recognition of interference patterns by the MatLab R2021a neural network is considered. A template for working in this software environment is also presented. The main advantages of using a neural network are given.

Key words: optical details, optical systems, control methods, interference method, neural network.

*Адрес для переписки: Олифер В. А., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: olifer.vlad2003@yandex.ru*

Качество изображения, воспроизводимого оптической системой, во многом зависит от точности обработки радиусов кривизны сферических поверхностей деталей, которые находят широкое применение благодаря простоте их расчета, технологичности и возможности использование классических методов контроля. Методы контроля радиусов кривизны можно разделить на контактные – осуществляемые с помощью кольцевых сферометров и пробных стекол (интерференционный метод); и бесконтактные – например, на основе автоколлиматора и интерферометра [1]. На практике часто складываются ситуации, когда (рисунок 2, а) требуется высокая квалификация рабочего или контролера для точного контроля линз и оценки результатов измерений. Поэтому нейронная сеть может выполнить эту работу более качественно, быстрее и точнее, а также избежать без субъективных ошибок, кроме этого можем дополнить тренировочную базу интерференционных картин. А еще неоспоримым достоинством нейросети является возможность ее самообучение.

Сущность контактных методов на основе сферометра заключается в относительном измерении радиусов кривизны сферических поверхностей на основе контактного измерения высоты шарового сегмента этой поверхности [2]. В интерференционном методе используют пробное стекло, представляющее собой пластину, одна из поверхностей которой (измерительная, эталонная) имеет заданный радиус кривизны, а вторая плоская. При наложении измерительной поверх-

ности пробного стекла на испытуемую (контролируемую) поверхность проверяемой оптической детали между ними возникает воздушный зазор.

При соответствующем освещении пробного стекла и контролируемой детали возникает интерференция лучей света, отраженных от верхней и нижней границ воздушного зазора. Наблюдаемая визуально интерференционная картина воспроизводит профиль воздушного зазора и позволяет судить о кривизне испытуемой поверхности проверяемой оптической детали [1].

Качество поверхности оценивают по виду интерференционной картины в виде колец или полос. Данным методом контролируется отклонение радиуса кривизны рабочей поверхности от расчетной величины.

Если на контролируемую поверхность детали (К) радиусом R и диаметром D , наложить эталон (Э) радиусом $R_0 = R_3$ – оптический калибр радиус которого равен заданному на чертеже $R_k \approx R_3$, то

$$R = R_0 + 4N\lambda \frac{R_0^2}{D^2}$$

или

$$R_k = R_3 \pm \Delta R.$$

Из курса оптики известно, что интерференционное кольцо наблюдается при разности хода лучей $\lambda/2$. При $\lambda = 555$ нм толщина воздушного зазора h соответствующая одному кольцу равна 250 нм.

$$\Delta R = h = \frac{\lambda}{2} N.$$

О форме испытываемой поверхности судят по виду интерференционной картины. При симметричном осевом распределении воздушного зазора картина имеет вид концентрических колец, по числу которых определяют отступление радиуса контролируемой поверхности от R , [2].

$$\pm \Delta R = R_k - R_s$$

Плавное отклонение от заданной кривизны поверхности характеризуется величиной общей ошибки (N) (общая «яма» или общий «бугор») и выражается числом интерференционных колец (или полос для $R = \infty$). Метод позволяет определить не только величину отклонения радиуса кривизны, но и его знак по сбегу интерференционной картины к ее центру или краю при нажатии в центре пробного стекла, установленного на контролируемую поверхность.

Если при наложении пробного стекла интерференционная картина искажается (деформируется), то это говорит о наличии местных (локальных) погрешностей (ΔN) на поверхности контролируемой детали.

Нормы точности. Отступление колец или полос от правильной формы характеризуется величиной местных неровностей поверхности и называется местными ошибками. Их величина выражается в долях ширины интерференционной полосы (L) и обозначается ΔN . Наиболее типичными ошибками, при наложении испытываемой поверхности на пробное стекло, являются следующие (рисунок 1) [2].

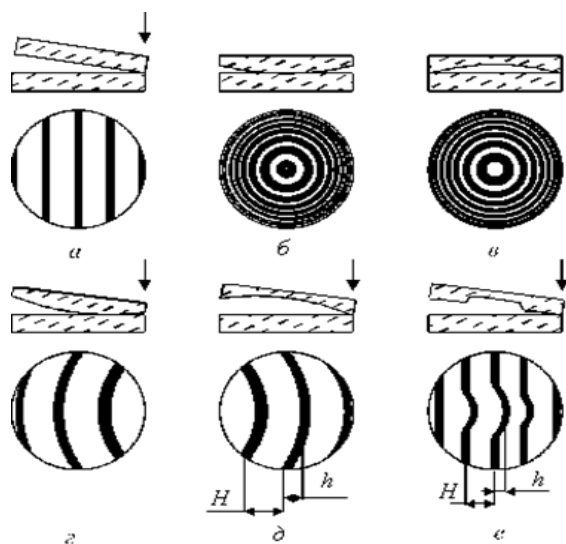


Рисунок 1 – Виды погрешностей поверхностей оптических деталей

Назначение допусков N и ΔN зависит от класса точности детали.

По первому классу (высокая точность) детали должны обрабатываться с погрешностью $N = 0,1-2,0$, а $\Delta N = 0,25-0,5$.

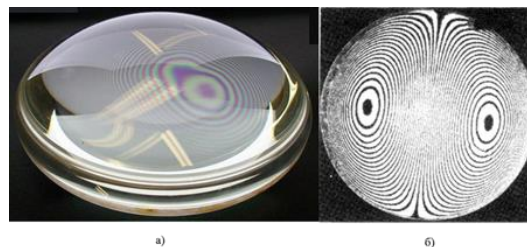
По второму классу (средняя точность) $N = 2,0-6,0$; $\Delta N = 0,5-2,0$.

По третьему классу (низкая точность N – не нормируется).

В случае, когда испытываемая поверхность является плоской и не имеет дефектов. Когда происходит нажатие при нажиме на край пробного или испытываемого стекла между ними возникает воздушный зазор в виде плоского клина. При таких обстоятельствах интерференционная картина имеет вид равноотстоящих прямых полос, параллельных ребру клина (рисунок 1, а).

В случае, когда испытываемая поверхность является выпуклой («бугор») или вогнутой («яма»), тогда интерференционная картина представляет собой ряд концентрических колец (рисунок 1, б и в). Определить знак кривизны можно путем равномерного нажима на края пробного или испытываемого стекла: в первом случае центр картины смещается к точке нажима (рисунок 1, г), во втором – в противоположную сторону (рисунок 1, д). Если кольца имеют форму окружности, то это указывает о равенстве кривизны поверхности детали в любом сечении. Неправильная форма колец указывает о различии кривизны поверхности в разных сечениях (рисунок 1, е).

Применение нейросети. Нейросеть может анализировать данные, оптимизировать процессы и автоматизировать рутинные задачи, связанные, например, с расчетом радиуса кривизны линз [3].



а – плохой поверхности линзы; б – сдвиговый интерферометр

Рисунок 2 – Интерференционная картина

Кроме этого, одним из перспективных направлений нейросети для контроля качества линз является сдвиговая интерферометрия, отличающаяся от классической интерференционной картиной (рисунок 2, б) и сложностью ее расшифровки. Таким образом, применение нейросети в этой области позволит лучше интерпретировать интерференционную картину [4].

Возможностей распознавания изображений с помощью нейронных сетей в программной среде MatLab R2021a. Где в качестве изображения служит интерференционная картина.

В качестве набора эталонных образов используются различные интерференционные картины от сдвигового интерферометра, плохих поверх-

ности, с различными видами погрешности, и идеальной поверхности линз.

Каждый образ формируем в виде графического файла в 8 битном черно-белом формате с разрешением 128×128 пикселей. После чего создают и обучают нейронную сеть. Затем приступают к запуску тестирования работы нейросети.

Таким образом, обучив нейросеть распознавать интерференционные картины можно оптимизировать работу систем в несколько десятков раз. А также предоставив для обучения большую базу данных, можно научить нейросеть находить малейшие отклонения, которые могут быть упущены при интерференционном методе [5].

Литература

1. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов [и др.]; под ред. М. А. Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехник, 2004. – 679 с.
2. Афанасьев, В. А. Оптические измерения. – М.: Высшая школа, 1981. – 232 с.
3. ГОСТ 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта.
4. ГОСТ Р 70462.1-2022/ISO/IEC TR 24029-1-2021. Информационные технологии. Интеллект искусственный. Оценка робастности нейронных сетей. Часть 1.
5. Луис, С. Грокам машинное обучение. – СПб.: Питер, 2024. – 512с.

УДК 681.7.068

КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Поляков А. В.¹, Ксенофонов М. А.²

¹Белорусский государственный университет

²НИУ «Институт прикладной физической проблем имени А. Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Описана квазираспределенная система измерения температуры с использованием мультиплексирования однородных волоконных брэгговских решеток с различными параметрами в качестве чувствительных элементов. На основе разработанной математической модели с помощью численного моделирования проведена оценка способов увеличения чувствительности и точности измерений для волоконных решеток Брэгга с металлизированным покрытием в диапазоне температур от –140 °С до +200 °С.

Ключевые слова: измеритель температуры, волоконная решетка Брэгга, металлическое покрытие, чувствительность.

QUASI-DISTRIBUTED FIBER-OPTIC TEMPERATURE SENSOR BASED ON METALLIZED FIBER BRAGG GRATINGS

Polyakov A.¹, Ksenofontov M.²

¹Belarusian State University

²A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A quasi-distributed temperature measurement system using multiplexing of homogeneous fiber Bragg gratings with different parameters as sensitive elements is described. Based on the developed mathematical model, numerical simulation is used to evaluate methods for increasing the sensitivity and measurement accuracy for fiber Bragg gratings with a metallized cladding in the temperature range from –140 °C to +200 °C.

Key words: Temperature meter, fiber Bragg grating, metal cladding, sensitivity.

Адрес для переписки: Поляков А. В., пр. Независимости, 4, г. Минск 220030, Республика Беларусь
e-mail: polyakov@bsu.by

В последние три десятилетия с развитием оптоэлектроники и волоконной оптики волоконно-оптические датчики (ВОД) прочно заняли свою нишу среди измерительных устройств благодаря таким уникальным свойствам как: пожаро-, взрыво-, искро-безопасность; устойчивость к химическим, механическим, коррозионным воздействиям; нечувствительность к влиянию электромагнитных помех; большая протяженность при небольшой массе; обеспечение мультиплексирования отдельных датчиков в сложные измерительные системы; возможность легкого сопряже-

ния с существующими волоконно-оптическими сетями и как следствие, передача информации на большие расстояния. На сегодняшний день разработаны ВОД измерения широкой номенклатуры физических величин, при этом наиболее массовое применение в различных областях находят ВОД температуры (ВОДТ).

Благодаря своим свойствам, ВОДТ находят применение в аэрокосмической отрасли, в том числе рассматриваются варианты установки на космические аппараты. В этой связи разработка и исследование способов улучшения характеристик