

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 12 Volume: 92

Published: 07.12.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



K.K. Shilibek

Taraz Regional University named after Dulati
Candidate of technical sciences

G.Zh. Karnakova

Taraz Regional University named after Dulati
Master of technical

MODELING THE TEMPERATURE DISTRIBUTION BASED ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF BRAGG GRATINGS

Abstract: The article analyzes the main processes of modeling the Bragg grating, the spectral characteristics of the fiber-optic grating. The inverse problem method was used to solve some of the parameters of this model, which were determined based on the observed values and results. It is concluded that measurements with high variance have little effect on the result. Thus, for direct measurements with an error of the Gaussian distribution, mean zero and variance, the criterion of the least squares method is differently not equivalent to the criterion of the maximum likelihood method.

Key words: Bragg gratings, temperature, model.

Language: Russian

Citation: Shilibek, K. K., & Karnakova, G. Z. (2020). Modeling the temperature distribution based on the spectral characteristics of bragg gratings. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (92), 43-47.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-92-9> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.12.92.9>

Scopus ASCC: 2200.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕШЕТОК БРЭГГА

Аннотация: В статье проанализированы основные процессы моделирования решетки Брэгга, спектральные характеристики волоконно-оптической решетки. Был использован метод обратной задачи для решения некоторых параметров данной модели, которые были определены на основе наблюдаемых ценностей и результатов. Сделан вывод, что измерения с высокой дисперсией мало влияют на результат. Таким образом, для прямых измерений с погрешностью распределения Гаусса, средним нулем и дисперсией критерий метода наименьших квадратов различной не эквивалентен критерию метода максимального правдоподобия.

Ключевые слова: решетки Брэгга, температура, модель.

Введение

В процессе моделирования решетки Брэгга необходимо рассмотреть определение входных коэффициентов решетки. Спектральные характеристики волоконно-оптической решетки Брэгга строго зависят от заданных входных значений и период решетки зависит от значения применяемой температуры. Такой подход можно назвать простой задачей [1, 2]. К проблеме определения заданной температуры можно также

подойти с помощью решения «обратной задачи». Температура, при которой была расположена решетка, может быть определена на основе изменений периода решетки, который называется «Обратная задача». Подход к простой задаче будет заключаться в определении спектральных характеристик решетки на основе известных входных значений.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Диаграмма анализа с использованием простого решения проблемы показана на рисунке 1.

На основании прилагаемой схемы можно сделать вывод, что на основе знания входных параметров волоконно-оптической решетки Брэгга и температуры решетки можно определить спектральные характеристики решетки, которые получают на анализаторе спектра. К сожалению,

этот метод нельзя использовать, если значение применяемой температуры неизвестно в системе. Однако значения входных параметров и спектральные характеристики известны, которые могут быть получены в результате реализации математической модели решетки Брэгга. Определение распределения температуры в решетке возможно с помощью обратной задачи.

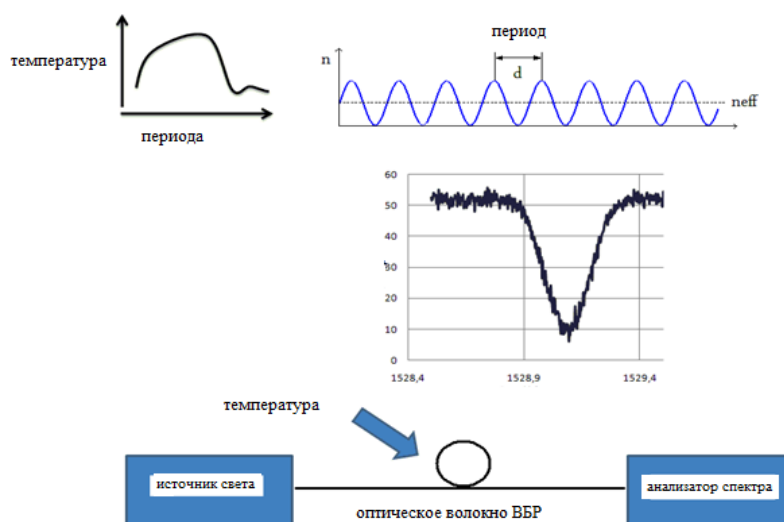


Рисунок 1. Схема простого решения проблемы.

Обратная задача - это задача, которая должна выполняться, когда некоторые параметры данной модели должны быть определены на основе наблюдаемых ценностей и результатов. При таком подходе при решении проблем ключевой информацией будет «априори», которая в случае имитации волокна решетки Брэгга будет входными значениями. «Априори» в том виде, как он определен, означает нечто, объясняющее причинно-следственную связь. Это также может означать дедуктивное мышление от деталей к общему [3]. Количество известных «априорных» входных параметров окажет большое влияние на точность полученных результатов. Знание пределов этой температуры также может быть важной информацией при определении распределения температуры.

Решение этой проблемы должно быть представлено для такой проблемы. Решением

обратной задачи является сочетание методов реализации математической модели и методов компьютерного анализа с использованием алгоритмов оптимизации [4]. На рисунке 2 показана предложенная блок-схема для решения обратной задачи.

Модели, используемые в работе, можно разделить на два типа. Первая - это причинно-следственная модель, которая иллюстрирует, как решить простую задачу. Анализируя и создавая такую модель, можно узнать эффект на основе анализа явлений, происходящих в этой модели. Затем мы можем создать запись математических уравнений, которая будет описывать явления, происходящие в данной модели. Поэтому диаграмма для решения обратной задачи использовалась в работе для определения температуры по спектральным характеристикам [5-8].

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 0.126
 ESJ (KZ) = 8.997
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

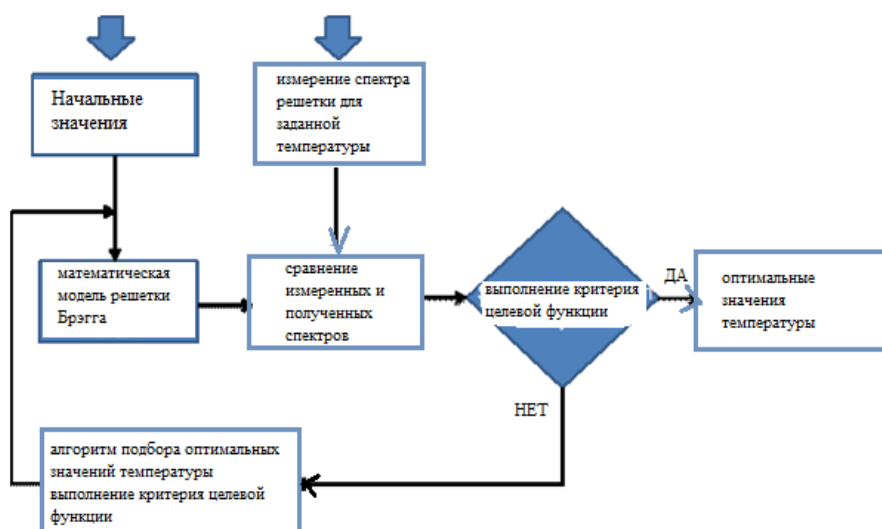


Рисунок 2. Структурная схема решения обратной задачи [5, 9,10].

Как показывает анализ диаграммы, показанной на рисунке 2, реализована математическая модель, которая будет использоваться для моделирования волоконно-оптической решетки Брэгга. После ввода начальных значений в математическую модель и моделирования решетки алгоритм обратного решения сравнивает результаты моделирования с реальными измерениями, выполненными в лабораторных условиях. На следующем шаге алгоритм решения обратной задачи проверяет, была ли достигнута целевая функция. Если условие выполнено, это означает, что оптимальные значения температуры были получены и алгоритм завершается. В противном случае используемый алгоритм выбирает следующие оптимальные значения и сравнивает их еще раз со значениями, измеренными в лабораторной среде. В конце разработанного таким образом метода получают желаемые значения температуры. Важным вопросом является определение критерия для определения распределения температуры, то есть целевой функции.

Можно сказать, что целевая функция является ключевым элементом в разработанном методе, поскольку она решает, можно ли считать определенные значения температуры окончательными или же алгоритм, используемый для решения обратной задачи, имеет «Поиск» соответствующих значений, что, очевидно, влияет на полученные результаты.

Функция цели может быть сохранена следующим образом:

$$F_{celu} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i^{zmierz.} - W_i^{oblicz.}}{W_i^{oblicz.}} \right)^2} \quad (1)$$

Выбор соответствующих алгоритмов для оптимизации полученных результатов температуры является еще одним ключевым элементом в процедуре определения значения температуры путем решения обратной задачи.

Метод наименьших квадратов был использован как метод оптимизации. Его основное предположение заключается в том, что каждый результат следующего измерения может быть сохранен как сумма измеренного значения и ошибки измерения. Это можно записать с использованием следующей зависимости:

$$y_i = x + \varepsilon \quad (2)$$

где: y_i - результат следующего измерения, x - измеренное значение, ε - погрешность измерения.

Чтобы минимизировать ошибку измерения, ее следует записать с помощью выражения:

$$\sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i (x - y_i)^2 = \min \quad (3)$$

Выполняя n прямых измерений размера x , мы получаем результаты измерения y_i , на которые влияет ошибка ε . Можно предположить, что погрешность измерения имеет гауссово распределение со средним значением, равным нулю, и с той же дисперсией, которую можно записать с использованием следующей формулы:

$$y_i = x + \varepsilon, \quad E(\varepsilon_i) = 0, \quad \text{var} = E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2 = \text{const} \quad (4)$$

Предполагая, что ошибка имеет гауссовское распределение, вероятность получения в

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

результате одного измерения размера y_i можно записать следующим образом:

$$P_i = f_i dy = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_i - x)^2}{2\sigma^2}\right) dy, \quad (5)$$

и функция логарифмического правдоподобия равна:

$$l = -\frac{1}{2} \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} (y_j - x)^2 + const. \quad (6)$$

Предполагая, что $l = \max$, мы получаем:

$$\sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i (x - y_i)^2 = \min, \text{ что является}$$

условием метода наименьших квадратов.

Сравнивая с нулем производную функции l относительно x , мы получаем оценку наибольшего правдоподобия, которая равна оценке наименьших квадратов:

$$\tilde{x} = \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (7)$$

Можно сделать вывод, что для прямых измерений с погрешностью распределения Гаусса, средним нулем и постоянной дисперсией критерий метода наименьших квадратов будет эквивалентен критерию метода максимального правдоподобия. Оценщики измеренной величины имеют ту же ошибку, которую можно записать следующим образом:

$$\Delta \tilde{x} = \Delta \bar{y} = \Delta y / \sqrt{n} \quad (8)$$

Рассматривая измерения различной точности, которые могут быть сделаны с помощью различных измерительных приборов, можно видеть, что на эти измерения влияют

ошибки Гаусса, которые можно записать с использованием следующей формулы:

$$E(\varepsilon_j) = 0, \text{ var} = E(\varepsilon_j^2) = \sigma_j^2 \neq const, \quad (9)$$

Таким образом, вероятность получения одного размера измерения составляет:

$$P_j = f_j dy = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - x)^2}{2\sigma_j^2}\right) dy. \quad (10)$$

Логарифмическая функция правдоподобия l , которую можно записать следующим образом:

$$l = -\frac{1}{2} \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} (y_j - x)^2 + const. \quad (11)$$

Предполагая, что $l = \max$, мы получим:

$$\sum_j \frac{(x - y_j)^2}{\sigma_j^2} = \min. \quad (12)$$

Можно видеть, что наилучшей оценкой для x является средневзвешенное значение отдельных измерений, которое можно записать с использованием следующей формулы:

$$\tilde{x} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{y_j}{\sigma_j^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sigma_j^2}} \quad (13)$$

Можно сделать вывод, что измерения с высокой дисперсией мало влияют на результат. Таким образом, для прямых измерений с погрешностью распределения Гаусса, средним нулем и дисперсией критерий метода наименьших квадратов различной не эквивалентен критерию метода максимального правдоподобия.

References:

1. Baghdasaryan, H. V., & Knyazyan, T. M. (2003). Simulation of amplifying phase-shifted fiber Bragg gratings by the method of single expression. *Optical and Quantum Electronics* 35: 493–506.
2. Blagoveshchenskii, A. S. (2005). An Inverse Problem of the Theory of Wave Propagation in a Random Layered Medium”, *Differential Equations*, Vol. 41, No. 10, 2005, pp. 1442–1448. Translated from *Differentsial'nye Uravneniya*, Vol. 41, No. 10, pp. 1369–1374.
3. Lebedev, L. P., Vorovich, I. L., & Gladwell, G. N. L. (2007). Functional Analysis: Applications in Mechanics and Inverse Problems. *Meccanica* 32: 585–588.
4. Sikora, A., & Kaczmarek, Z. (2005). *Przetwarzanie odkształceń impulsowych apodyzowaną światłowodową siatką Bragga o stałym okresie*. Analiza numeryczna, Sympozjum nt. Pomiarów Dynamicznych –

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

- prace komisji Metrologii oddziału PAN w Katowicach. Seria: Konferencje nr 10, Szczyrk, pp. 103-112.
5. Wei, Z., Li, H., Zheng, W., & Zhang, Y. (2001). Fabrication of tunable nonlinearly chirped fiber gratings using fiber Bragg grating. *Optics Communications* 187.
 6. Wójcik, W., Kisała, P., & Ciężczyk, S. (2008). The conception of the temperature distribution measurement with the use of the Fiber Bragg Gratings, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 84 NR 3/2008.
 7. Iadicicco, A., Campopiano, S., Cutolo, A., Giordano, M., & Cusano, A. (2006). Self temperature referenced refractive index sensor by non-uniform thinned fiber Bragg gratings”, *Sensors and Actuators B* 120 (2006) 231–237.
 8. Jędrzejewski, K. (2002). Siatki Bragga – nowy element w technice światłowodowej”, *Przegląd Telekomunikacyjny rocznik LXXV nr 3/2002*, pp. 148-152.
 9. Ivanchov, M. I. (2003). Inverse problem with free boundary for heat equation”, *Ukrainian Mathematical Journal*, Vol. 55, No. 7.
 10. Jędrzejewski, K. (2002). Siatki Bragga - nowy element w technice światłowodowej. *Przegląd Telekomunikacyjny nr. 3/2002*, pp. 148 – 152.