

Prof. dr hab. inż. Oleksandr Vasilevskij,  
Wydział Metrologii i Automatyki Przemysłowej,  
Winnicki Narodowy Uniwersytet Techniczny,  
Vinnica, Ukraina

## РЕЦЕНЗИЯ

докторской диссертации Индиры Шедреевой  
на тему: «Анализ влияния температуры на оптические параметры косых  
брэгговских решеток».

### 1. Основание для подготовки рецензии.

- pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Lubelskiej z dnia 29.06.2022 r., Uchwała nr AEiE/23\_2.8b/20-24;
- rozprawa doktorska mgr. inż. Indiry Shedreyej pt.: «*Analiza wpływu temperatury na parametry optyczne ukośnych siatek Bragga*»
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r., poz. 85);
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669).

### 2. Характеристика работы.

Представленная на рассмотрение докторская диссертация написана на русском языке, имеет 111 страниц с приложениями, из которых 80 страниц основного печатного текста и список литературы в количестве 110 наименований. Библиография отражает современное состояние знаний в области влияния температуры на оптические параметры косых брэгговских решеток, математического моделирования, исследования спектральных характеристик, температурной чувствительности и вычислительной техники. Подбор литературы целенаправленный и правильный.

Диссертация разделена на 8 основных глав, включая введение, выводы, литературу и приложения. Иллюстративный материал, представленный в работе, нагляден и отражает достижения Индиры Шедреевой в решении задачи трансмиссии света на дифракционной оптоволоконной решетке, штрихи которой наклонены по отношению к ее границам полосы, а также разработке математических моделей влияния температуры на оптические свойства косой брэгговской решетки для построения датчиков температуры и определении метрологических параметров косых волоконных брэгговских решеток. Задачи поставленные в диссертации есть правильным и четким, а используемая терминология верна и понятна.

### **3. Актуальность темы диссертации.**

Открытие фоточувствительности способствовало развитию способов применения фотодиодов в измерительной технике. Появились новые элементы в оптической технике, которые называются световодными решетками Брэгга, которые согласно закону Брэгга могут пропускать или отражать определенные длины волн. При этом известно, что свойства брэгговских решеток зависят от их вида. Основное распределение решеток Брэгга это: равномерные решетки, а среди равномерных - прямые и косые. Свойства решеток сильно зависят от того, до какой группы они принадлежат. При расчете дифракционного спектра в науке используются различные методы: метод связанных волн, модальное приближение, матричный метод, лучевое приближение, метод возмущений и др.

На сегодняшний день еще недостаточно исследовано влияние температуры на оптические параметры косых решеток Брэгга. Нет исчерпывающих выводов о том, как изменяются оптические параметры косой Брэгговской решетки в зависимости от влияния температуры. Поэтому проведение исследований в области влияния температуры на оптические параметры косых решеток Брэгга для получения математической модели трансформации оптического излучения при изменении температуры и разработка соответствующих датчиков температуры с нормированными метрологическими характеристиками есть актуальной научной задачей которая соответствует современным тенденциям мировой науки.

### **4. Предметный анализ и оценка работы.**

Первая глава диссертации, является введением и содержит описание актуальности темы работы. Эта глава представляет собой обзор мировых источников литературы по вопросам, касающимся темы исследований. Наведено размышления автора относительно преимуществ использования оптических параметров косых решеток Брэгга для использования в измерительной технике. Из приведенного в этой главе материала следует, что автор диссертации ориентируется в рассматриваемой теме и умеет качественно обрабатывать источники литературы.

Вторая глава посвящена формированию основного тезиса, цели и объема необходимой работы. В главе сформулирован тезис который звучит так: косую брэгговскую решетку, которой спектральные характеристики и параметры изменяются под влиянием температуры можно использовать как датчик температуры.

Для доказательства тезиса необходимо решить ряд задач, которые автор перечислил в этой главе. Автором сформированы научная новизна, объект и предмет исследований.

В третьей главе анализируются особенности волоконно-брэгговских решеток и наводится отличие прямых брэгговских решеток от косых решеток. Представлены спектры отражения брэгговских решеток на основании

использования интерферометрического метода, метода фазовой маски и пошагового метода. Наведены преимущества и недостатки использования брэгговских решеток, которые дали возможность предложить методики повышения точности определения длин волн отражения для достижения высокой дифракционной эффективности.

В четвертой главе наводятся возможные отрасли применения волоконно-оптических датчиков, наводится подробное описание математической модели для анализа косых брэгговских решеток, а также приведены результаты математического моделирования и экспериментальных (практических) исследований, которые показывают высокую сходимость теоретических утверждений (аналитических выражений) с результатами эксперимента (рис. 4.9, рис. 4.10, рис. 4.11).

Также в этой главе рассмотрено влияние температуры на параметры косых брэгговских решеток и оценено их влияние на спектральные характеристики. Представлены аналитические выражения влияния изменений температуры на светодиод, а также характеристики изменения температуры и деформации решетки на изменения показателя преломления и периода решетки. Получено коэффициент относительной чувствительности температуры решетки при постоянной деформации.

Пятая глава посвящена практической реализации косых волоконно-брэгговских решеток и их экспериментальным исследованиям. Описано методику изготовления косых брэгговских решеток и представлены схемы для их записи, при этом важным условием является создания точного угла между фазовой маской, осью оптоволокна и создаваемым полем интерференции. Также в этой главе разработано и представлено систему измерения влияния температуры на спектральные характеристики косых решеток и результаты экспериментальных исследований влияния температуры на спектральные характеристики решеток. В результате таких экспериментов получены градуированные характеристики (таблицы), которые показывают влияния температуры на длины волн и амплитуды брэгговского резонанса. Выполнен метрологический анализ результатов исследований и получены характеристики для разных наклонов решетки  $3^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $7^{\circ}$ , которые свидетельствуют о линейной зависимости длины волны при изменении температуры. Рассчитаны значения температурной чувствительности и температурные коэффициенты для косых брэгговских решеток в диапазоне от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ .

Глава шесть посвящена общим выводам по диссертации. На основании проведенных исследований автором сформулированы выводы, которые демонстрируют полезность и значимость полученных результатов для науки и практики. Сделанные выводы соответствуют полученным в предыдущих разделах результатам. В конце этой главы также представлены направления дальнейших исследований.

В главе семь представлено анализ литературы, которая состоит из 110 источников, которые полностью коррелируются с темой диссертационных исследований.

Глава восемь представлена как приложение к диссертации, здесь автор демонстрирует полученные экспериментальные исследования в широком диапазоне температур для разных значений угла наклона брэгговских решеток, которые подтверждают полученные аналитические выражения при моделировании.

## **5. Подробные комментарии.**

Тезис, цель и задачи работы были сформулированы четко и корректно, не вызывая никаких сомнений и недомолвок. Работа в согласованном порядке проводится согласно намеченной цели, что привело к доказательству выдвинутого тезиса. Принятая методика доказательства логична, так как осуществляется от определения потребностей и требований через анализ, разработку математической модели, проведения экспериментов и сравнения полученных результатов с результатами моделирования.

Работа состоит из анализа теоретических сведений, математического моделирования и экспериментальных исследований. На основании математического моделирования косых решеток получены спектральные характеристики влияния температуры на длину волны и амплитуду. Результаты моделирования сопоставлены с результатами экспериментальных исследований. Исследования показали высокую сходимость полученных результатов. Это подтверждает выполнения всех поставленных во второй главе задач исследований.

### **Собственными достижениями автора считаю:**

- разработка адекватной математической модели косых брэгговских решеток, которая имеет высокую сходимость с результатами экспериментальных исследований. Разработанная модель позволяет использовать ее для этапа проектирования косых решеток;
- разработка методики выполнения исследований влияния температуры на длину волны и амплитуду волны Брэгга, с помощью которой можно получать градуировочные характеристики и исследовать статические характеристики чувствительного элемента;
- разработка метода аппроксимации зависимости влияния температуры на длину волны, который позволяет строить зависимости длины волны от температуры для разных углов наклона решеток и исследовать нормированные метрологические характеристики датчиков температуры в широком диапазоне;
- получения аналитического уравнения для определения температурной чувствительности и относительного температурного коэффициента, которые в дальнейшем позволят определять порог чувствительности датчика температуры для разных углов наклона косых решеток;
- возможность комплексно проводить обширный исследовательский эксперимент, анализировать современную литературу, моделировать поставленные задачи исследования в современных вычислительных

приложениях, самостоятельно выполнять исследования и сравнивать полученные результаты с результатами моделирования.

**К недостаткам работы, которые должен объяснить докторант, относятся:**

- в диссертации четко не описаны преимущества использования косых решеток над использованием прямых решеток (например, это позволяет повысить точность измерений или чувствительность в численном выражении в 1,5 раза), а также какие основные преимущества дает возможность изменение угла наклона решеток Брэгга и какой угол есть оптимальным по отношению к точности или чувствительности;

- в четвертом разделе автором разработана математическая модель и осуществлено моделирование в пакете Matlab, однако с текста не понятно, почему моделирование осуществлялось в диапазоне длин волн от 1515 до 1570 нм, с чем связан выбор именно таких значений длин волн и проводились ли исследования на других длинах волн?

- в пятом разделе автором осуществлен метрологический анализ полученных экспериментальных данных, однако с текста диссертации не понятно, какая точность измерений может быть достигнута (гарантирована) при использовании датчиков температуры построенных на основании косых решеток;

- после проведения экспериментальных исследований автор сопоставляет результаты экспериментов с результатами моделирования и делает вывод о высокой сходимости полученных результатов. Поэтому возникает вопрос, какое численное значение погрешности (разности) результатов моделирования с результатами экспериментов?

- чем подтверждается адекватность разработанной автором математической модели для анализа косых брэгговских решеток?

- во втором разделе диссертации определены тезисы, задачи и научная новизна, которые направлены на создания возможностей разработки датчиков температуры на основании косых решеток Брэгга, но расчетов погрешности или среднеквадратических отклонений у выводах диссертации не наводится. Поэтому возникает вопрос на сколько ваш метод измерения температуры точнее (лучше) по сравнению с существующими методами?

- по тексту диссертации встречаются синтаксические ошибки.

Перечисленные недостатки не влияют на общее восприятие работы, которое я считаю положительным.

## 6. Резюме и заключение.

При ознакомлении с представленной на оценку докторской диссертацией констатирую, что:

- доказан тезис диссертации, изложенный во второй главе: косую брэгговскую решетку, которой спектральные характеристики и параметры изменяются под влиянием температуры можно использовать как датчик температуры;
- тема диссертации актуальна и хорошо скомбинированы как теоретические сведения и результаты математического моделирования, так и результаты экспериментальных исследований;
- в диссертации указаны необходимость и перспективы будущих исследований, направлены на решение вопросов, связанных с уменьшением шага изменения температуры, увеличением чувствительности спектрометра и увеличением количества решеток с одинаковым углом наклона.

Из вышеизложенного следует, что докторант обладает компетенцией для самостоятельного проведения научных исследований и характеризуется значительными знаниями по научной дисциплине, на которую распространяются вопросы, освещаемые в диссертации. На мой взгляд, докторант показал умение сформулировать задачу, решить ее самостоятельно и проверить ее полезность, подтвердив правильность принятой теории и инструментария для ее реализации. Намеченная работа была выполнена и тезис доказан.

**Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Indiry Shedreyevej pt.: «Analiza wpływu temperatury na parametry optyczne ukośnych siatek Bragga» spełnia ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim w odniesieniu do oryginalności problemu naukowego, umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wiedzy teoretycznej.**

**W związku z powyższym wnioskuje o dopuszczenie Pani mgr. inż. Indiry Shedreyevej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**



/recenzent/

prof. dr hab. inż. Oleksandr Vasilevskij