

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЕГГОВСКИХ РЕШЕТОК**

**Кусаинова К.Т., Кабибулатов А.А., Хамзина Б.Е.,  
Жетписбаева А.Т., Иманмадилов Д.К.**

*Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан,  
e-mail: kayny7@mail.ru, kabibulatov@gmail.com, be\_khamzina@mail.ru,  
aigulji@mail.ru, sonyamarmeladova148@gmail.com*

В работе представлен краткий обзор и анализ исследований, связанных с волоконными брегговскими решётками. Авторами описано экспериментальное исследование, проведенное ими с целью выявления зависимости длины волны брегговской решётки от температуры. Эксперимент проводился с использованием двух оптических светочувствительных волокон с нанесёнными на них методом фазовой маски наклонными брегговскими решётками с периодом решёток 540 нм и длиной 10 мм. Экспериментальные данные показали, что наклонные брегговские решётки чувствительны к изменению температуры, что говорит о потенциальной возможности использования их в оптоволоконных датчиках температуры для возможного улучшения эффективности этих датчиков. По полученным экспериментальным данным представлен график зависимости длины волны брегговской решётки от температуры и проведена аппроксимация. В ходе исследования выявлена явная линейная зависимость длины волны наклонной брегговской решётки от температуры окружающей среды. Предложено длину волны наклонной брегговской решётки использовать как индикатор изменения температуры окружающей среды. Авторами отмечено, что зависимость длины волны от температуры представляет большой интерес в контексте практического применения в производстве для мониторинга температуры, а также перспективы исследования.

**Ключевые слова:** оптоволокно, оптоволоконный датчик, метод фазовой маски, наклонная брегговская решётка, длина волны

**APPLICATION OF FIBER BRAGG GRATINGS**

**Kusainova K.T., Kabibulatov A.A., Khamzina B.E.,  
Zhetpisbaeva A.T., Imanmadirov D.K.**

*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, e-mail: kayny7@mail.ru,  
kabibulatov@gmail.com, be\_khamzina@mail.ru, aigulji@mail.ru, sonyamarmeladova148@gmail.com*

This article presents a brief overview and analysis of research related to fiber Bragg gratings. The authors describe an experimental study carried out by them in order to reveal the dependence of the wavelength of the Bragg grating on temperature. The experiment was carried out using two optical light-sensitive fibers with oblique Bragg gratings with a grating period of 540 nm and a length of 10 mm applied to them by the phase mask method. Experimental data have shown that tilted Bragg gratings are sensitive to temperature changes, which indicates the potential for their use in fiber-optic temperature sensors to possibly improve the efficiency of these sensors. Based on the obtained experimental data, a graph of the dependence of the wavelength of the Bragg grating on temperature is presented and an approximation is carried out. The study revealed a clear linear dependence of the wavelength of the tilted Bragg grating on the ambient temperature. It is proposed to use the wavelength of the tilted Bragg grating as an indicator of the change in the ambient temperature. The authors noted that the dependence of the wavelength on temperature is of great interest in the context of practical application in production for monitoring temperature, as well as research prospects.

**Keywords:** fiber optic, fiber optic sensor, phase mask method, tilted Bragg grating, wavelength

В настоящее время для измерения температуры часто используются волоконно-оптические датчики ввиду своих преимуществ перед конкурентными технологиями, таких как быстрая передача данных, точность измерений, возможность масштабирования и т.д. Датчики, изготовленные с использованием волоконных брегговских решёток, обладают преимуществами волоконно-оптических датчиков, при этом позволяя улучшить конкурентные преимущества перед другими технологиями. Использование брегговских решёток зачастую приводит к повышению эффективности/экономии ресурсов/улучшению точности измерений и т.д. В связи с этим наклон-

ные брегговские решётки также вызывают интерес в контексте их использования в различных направлениях для достижения тех же целей, что и при использовании брегговских решёток. Датчики с наклонной волоконной брегговской решёткой являются новейшим типом волоконных датчиков и приобретают все большее значение в области мониторинга состояния конструкций гражданской инфраструктуры [1] и в нефтегазовой промышленности [2].

Интерес к наклонным брегговским решёткам в настоящее время крайне высок. Это может быть подтверждено многочисленными исследованиями, которые проводятся по всему миру. К примеру, К.Р. Ма,

С. Wu и др. проводили эксперимент с наклонной брэгговской решеткой, которая была помещена в пластмассу, армированную углеродным волокном для получения данных о затвердевании вещества. Основываясь на полученном результате, они пришли к выводу, что наклонные брэгговские решетки могут быть применены для контроля качества изготовления и контроля повреждений аэрокосмических композитов [3].

Другой группой исследователей (Xin Tian, Xiaofan Zhao и др.) изучен потенциал использования брэгговских решеток в мощных волоконно-лазерных системах. Экспериментальные результаты показали, что, если длина волны Брэгга находится в диапазоне спектра романовского усиления с относительно высоким коэффициентом усиления, очень слабое брэгговское отражение может быть значительно усилено, что серьезно повлияет на выходную мощность лазера, эффективность и качество луча [4].

Другими исследователями были изучена зависимость ширины спектра пропускания наклонной брэгговской решетки от коэффициента преломления среды и по результатам проведенного эксперимента пришли к выводу, что наклонные брэгговские решетки могут использоваться для измерения коэффициента преломления среды [5].

Нами же было проведено исследование с целью определения зависимости длины волны брэгговской решетки от температуры окружающей среды.

### Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента авторами были использованы два оптических светочувствительных волокна с нанесенными на них методом фазовой маски наклонными брэгговскими решетками с периодом решеток 540 нм и длиной 10 мм. На одно волокно была нанесена решетка с углом наклона в  $3^\circ$ , а на второе – с углом наклона  $5^\circ$ . Оба волокна были подключены к источнику света с одной стороны и к оптическому анализатору с другой. Участки, близкие к серединам кабелей, были зачищены, защитная оболочка кабелей была удалена. Этот участок был помещен в контейнер с 10%-ным раствором воды с тростниковым сахаром, показатель преломления среды в растворе составил 1,3479. Контейнер с раствором и волокнами был помещен в климатическую камеру.

В нашем эксперименте сигнал был отправлен в наклонную брэгговскую решетку из источника света, который соединен с решеткой при помощи одномодового оптического волокна. Кабель был помещен в контейнер с раствором, контейнер – в климатическую камеру, температура варьировалась от 0 до  $50^\circ\text{C}$  с шагом в  $5^\circ$ . Спектры пропускания решетки поступали в оптический анализатор, после этого можно было вести работу с данными, проводить анализ спектров пропускания решетки. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования зависимости длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры

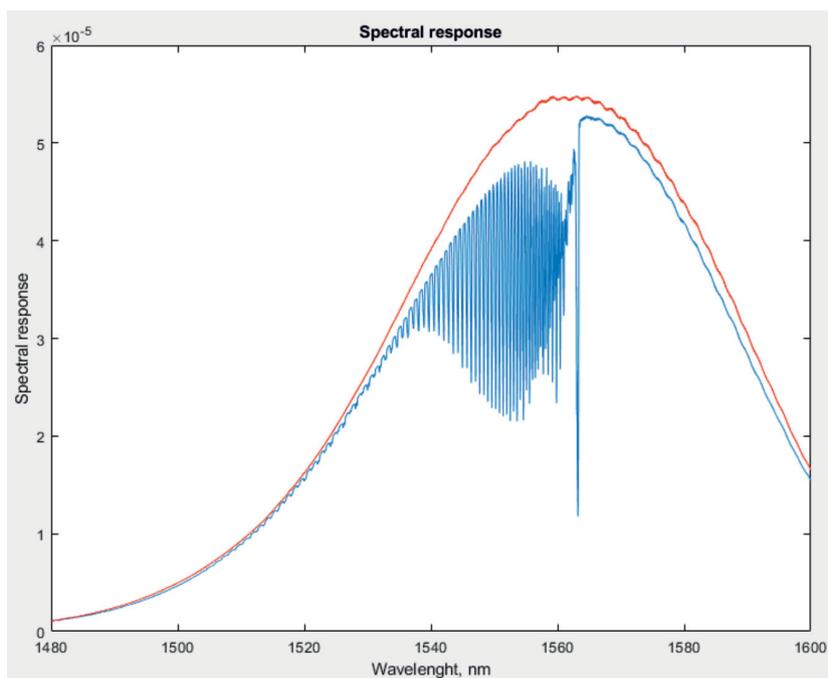


Рис. 2. Спектральный отклик наклонной решетки

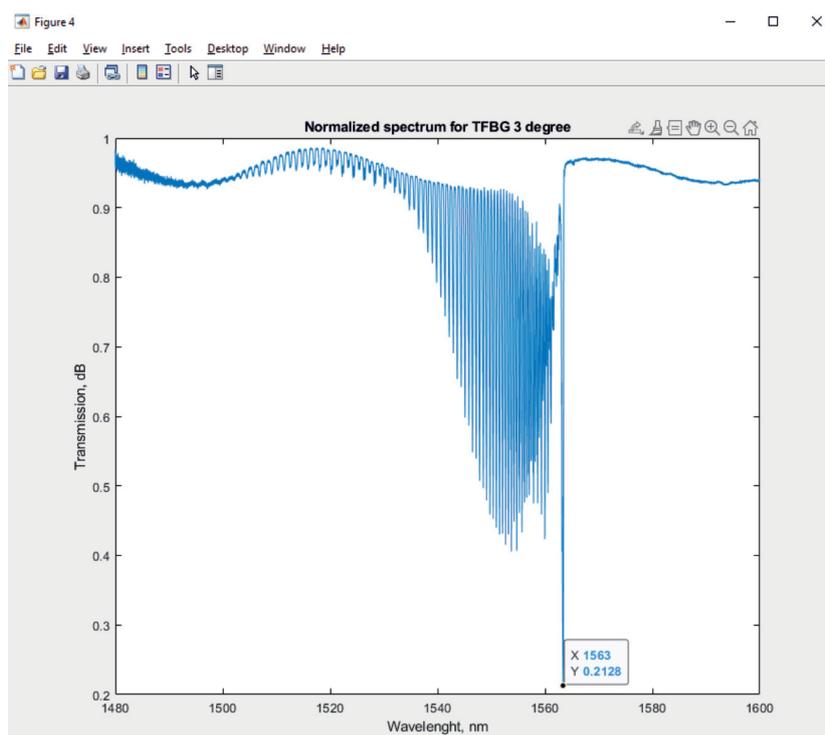


Рис. 3. Длина волны наклонной решетки

### Результаты исследования и их обсуждение

После проведения эксперимента, по полученным данным построен нормированный спектр решетки в среде Matlab.

Нормированный спектр был получен нами путём соотношения спектра решетки на спектр источника света – синей линии на красную (рис. 2). Длина волны наклонной брэгговской (рис. 3) решетки менялась при повышении температуры

окружающей среды. В ходе эксперимента выявлена зависимость 10 полученных значений длины волны от 10 значений температуры для наклонной брэгговской решетки с углом наклона в  $3^\circ$  (таблица) и на основе этой зависимости построен график (рис. 4).

После проведения аппроксимации была отмечена явная линейная зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды. Согласно полученной зависимости, формула аппроксимирующей линии

имеет вид  $y = -5,5691x + 0,2220$ , что говорит о линейной природе зависимости длины волны брэгговской решетки от температуры окружающей среды (рис. 5).

При повышении температуры окружающей среды до  $25^\circ\text{C}$  длина волны наклонной брэгговской решетки меняется, но изменения незначительны. Изменение длины волны особенно заметно на участке от  $30^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$ . При прохождении порога в  $40^\circ\text{C}$  изменение длины волны достигло максимального значения в рамках проведённого эксперимента.

Зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды

Температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$	Длина волны наклонной брэгговской решетки, нм
0	0,216
5	0,2178
10	0,2139
15	0,2128
20	0,2133
25	0,2104
30	0,2139
35	0,2126
40	0,2056
45	0,1939
50	0,1788

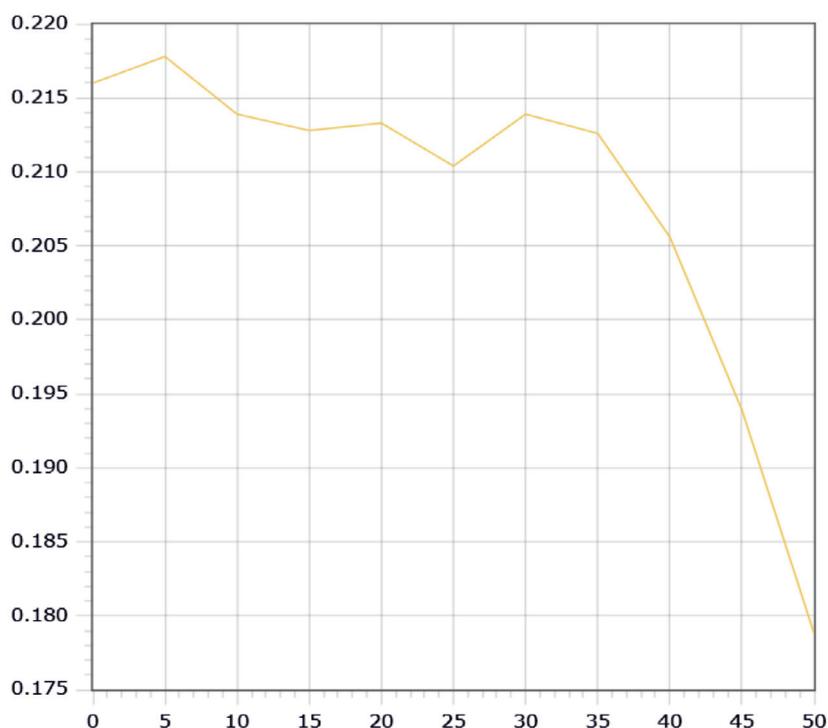


Рис. 4. График зависимости длины волны от температуры окружающей среды

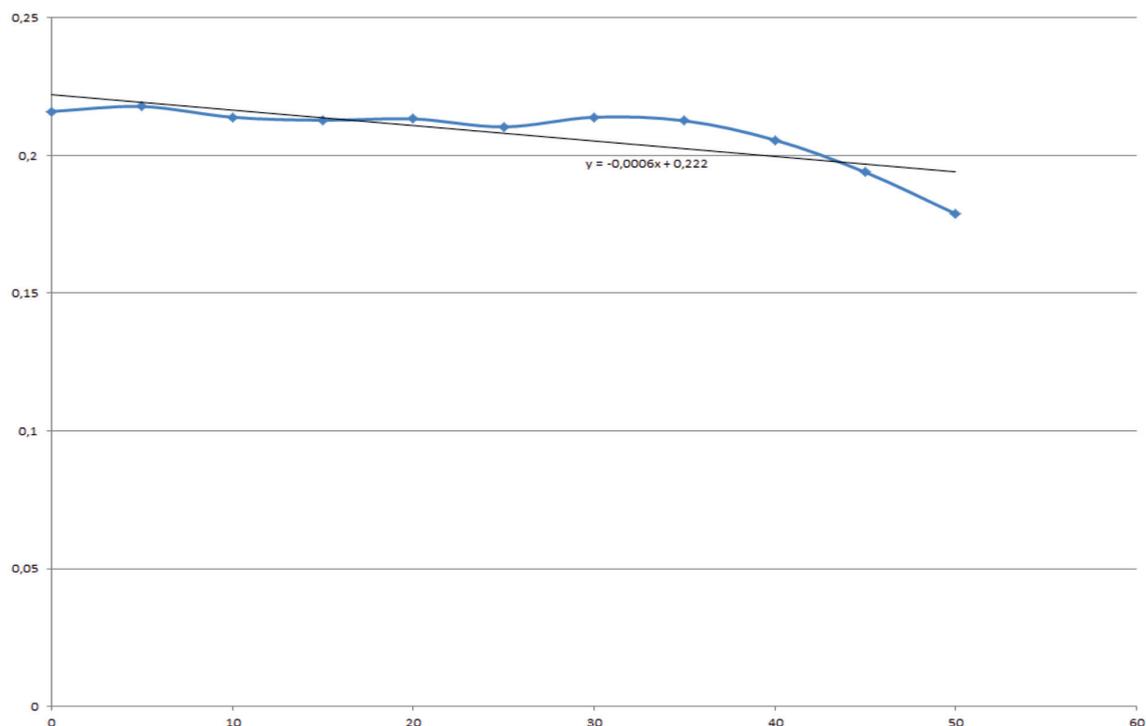


Рис. 5. Аппроксимация зависимости

### Заклучение

Таким образом, в ходе нашего исследования нами выявлена линейная зависимость длины волны наклонной брэгговской решетки от температуры окружающей среды. Следовательно, значение длины волны наклонной брэгговской решетки можно использовать как индикатор изменения температуры окружающей среды. Данная характеристика длины волны представляет большой интерес в контексте практического применения в производстве для мониторинга температуры. Считаем, что для этого следует повторить те же измерения длины волны для других углов наклона наклонных брэгговских решеток.

### Список литературы

1. K. Kesavan, B. Arun Sundaram, A.K. Farvaze Ahmed, S. Parivallal, Pbiswas, S. Bandyopadhyay, K. Ravisankar and Umesh Tiwari. Performance assessment of indigenously devel-

oped FBG strain sensors under short-term and long-term loadings CSIR-Structural Engineering Research Centre, Council of Scientific and Industrial Research, India Central Glass and Ceramic Research Institute, Council of Scientific and Industrial Research. 2015. Vol. 40. No. 2. P. 577–590.

2. Solomon Udoh, James Njuguma, Radhakrishna Prabhu. Modelling and Simulation of Fiber Bragg Grating Characterization for Oil and Gas Sensing Applications. Proceedings of the 2014 First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation (2014). IEEE Computer Society, 2014. P. 255–260.

3. Ma K.-P., Wu C.-W., Tsai Y.-T., Hsu Y.-C., Chiang C.-C. Internal Residual Strain Measurements in Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates Curing Process Using Embedded Tilted Fiber Bragg Grating Sensor. *Polymers*. 2020. Vol. 3 No. 12. P. 1472–1479.

4. Xin Tian, Xiaofan Zhao, Meng Wang, Qihao Hu, Hongye Li, Binyu Rao, Hu Xiao, Zefeng Wang. Influence of Bragg reflection of chirped tilted fiber Bragg grating on Raman suppression in high-power tandem pumping fiber amplifiers. *Optics Express*. 2020. Vol. 28. No. 13. P. 19508–19517.

5. Tolegenova A., Kisała P., Zhetpisbaeva A., Mamyrbaev O., Medetov B. Experimental determination of the characteristics of a transmission spectrum of tilted fiber bragg gratings. *Metrol. Meas. Syst.* 2019. Vol. 26 No. 3. P. 581–589.