

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, ISSN 1609-1817, DOI 10.52167/1609-1817, Vol. 118, No.3 (2021) pp.112-123

## ANALYSIS AND RESEARCH OF THE EXISTING EXPERIENCE IN THE DESIGN AND USE OF VARIOUS MODERN FIBER-OPTIC SENSORS FOR MONITORING THE CONDITION OF MECHANICAL AND BUILDING STRUCTURES

**Aliya Kalizhanova**, Cand. in Physics. - Math. Sciences, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan; kalizhanova\_aliya@mail.ru

**Gulzhan Kashaganova**, PhD, c, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan; guljan\_k70@mail.ru

**Ainur Kozbakova**, PhD, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; ainur79@mail.ru

**Didar Edilkhan**, PhD, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Astana IT University, Nursultan, Kazakhstan; yedilkhan@gmail.com

**Zhazira Amirgaliyeva**, PhD, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan; zh.amirgaliyeva@gmail.com

**Zhasulan Orazbekov**, PhD, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; o.jas@mail.ru

**Abstract.** This article provides an overview and discusses the issues of monitoring the design of industrial facilities. Monitoring of the technical condition of important and hazardous production facilities in order to prevent emergency situations leading to damage or destruction of objects is a continuous round-the-clock process of instrumental automated control and registration of individual parameters of the object. Monitoring is carried out using optical, laser and geophysical methods and tools. Monitoring of the technical condition of building structures ensures their safe operation, and the monitoring results are the basis for operational work at industrial facilities. During the monitoring, the processes occurring in the structures of objects and in the ground are monitored. Monitoring is carried out for timely detection at an early stage of trends in negative changes in the condition of structures that may lead to the transition of the object to a limited operational or emergency state, as well as to obtain data necessary for the development of measures to eliminate the negative processes that have arisen. The article analyzes the methods and means of monitoring. The most promising approach is to use fiber-optic sensors as a key element of the monitoring system. Namely, the use of fiber-optic sensors based on fiber Bragg gratings. The types and schemes of fiber-optic sensors based on fiber Bragg gratings are considered. The use of such sensors in the monitoring system will simplify measurements and obtain reliable data, as well as get all new opportunities for simultaneous measurement of various quantities.

**Keywords:** Monitoring, monitoring methods, fiber optic sensors, fiber Bragg gratings, types of fiber gratings

УДК 004.9

DOI 10.52167/1609-1817-2021-118-3-112-123

**А.У. Калижанова**<sup>1,2</sup>, **Г.Б.Кашаганова**<sup>1</sup>, **А.Х. Козбакова**<sup>1,3</sup>, **Д. Едилхан**<sup>1,4</sup>,  
**Ж.Е. Амиргалиева**<sup>1</sup>, **Ж. Оразбеков**<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Астана IT университет, г. Нур-Султан, Казахстан

<sup>5</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

## АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СОВРЕМЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Аннотация:** В данной статье сделан обзор и рассмотрены вопросы мониторинга конструкции объектов промышленности. Проанализированы методы и средства мониторинга. Наиболее перспективным подходом является использование волоконно-оптических датчиков в качестве ключевого элемента системы мониторинга. А именно применение волоконно-оптических датчиков на основе волоконных решеток Брэгга. Рассмотрены виды волоконно-оптических датчиков на основе волоконных решеток Брэгга. Использование таких датчиков в системе мониторинга позволит наиболее упростить измерение и получить достоверные данные, а также получить все новые возможности измерения различных величин одновременно.

**Ключевые слова:** Мониторинг, методы мониторинга, волоконно-оптические датчики, волоконные решетки Брэгга, виды волоконных решеток.

**Введение.** Мониторинг технического состояния важных и опасных производственных объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, приводящих к повреждению или разрушению объектов, представляет собой непрерывный круглосуточный процесс инструментального автоматизированного контроля и регистрации отдельных параметров объекта. Мониторинг осуществляется с использованием оптических, лазерных и геофизических методов и средств. Мониторинг технического состояния строительных конструкций обеспечивает их безопасную эксплуатацию, а результаты мониторинга являются основой оперативной работы на промышленных объектах. В ходе мониторинга контролируются процессы, происходящие в конструкциях объектов и в грунте. Мониторинг проводится для своевременного выявления на ранней стадии тенденций негативных изменений состояния конструкций, которые могут привести к переходу объекта в ограниченное эксплуатационное или аварийное состояние, а также для получения данных, необходимых для

разработки мероприятий по устранению возникших негативных процессов.

На многих промышленных объектах доступ к большинству несущих конструкций существенно ограничен, а работы по традиционному обследованию их технического состояния являются трудоемкими и дорогостоящими. Для мониторинга таких объектов используются специальные методы и технические средства раннего обнаружения и локализации мест изменения состояния сооружений с последующим обследованием технического состояния выявленных опасных участков.

Основные виды методов контроля технического состояния строительных конструкций:

- 1) геодезические методы;
- 2) обследования технического состояния конструкций;
- 3) определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений;
- 4) динамические методы.

Геодезические методы реализуются с использованием современных цифровых первичных преобразователей (датчиков),

спутниковых GPS-технологий и лазерного сканирования строительных конструкций.

Геодезические методы позволяют определить перемещение строительных конструкций в пространстве, измерить их осадки. Полученные данные соответствуют состоянию конструкций на момент измерения, т. е. данные методы реализуются при однократных измерениях и не дают постоянной информации о динамике поведения строительной конструкции.

Обследования технического состояния строительных конструкций часто проводятся путем оценки состояния грунтового массива в основании здания или сооружения. Они зависят от уровня решаемых задач по трудоемкости, стоимости, разрешающей способности и информативности и могут проводиться от измерений в отдельных скважинах до межскважинного состояния. В зависимости от выбора средств контроля технического состояния строительных конструкций допустимо осуществлять контроль дифференциального послойного или суммарного осадка грунта фундаментов сооружений, уровня воды, давления в горных породах и др.

Определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений осуществляется с помощью набора инструментов с использованием датчиков вибрационных напряжений, размещенных в фундаментной плите, а также в стенах, пилонах, колоннах зданий. Исследования проводятся непрерывно в автоматическом режиме.

Динамические методы выполняются различными измерительными приборами. Схемы динамических наблюдений разнообразны и включают как варианты искусственного возбуждения колебаний зданий вибраторами, так и возбуждения колебаний естественными воздействиями, например ветром. Динамические методы дают постоянную картину состояния строительной конструкции, наблюдая за которой можно получить полный спектр

информации об особенностях динамики зданий и сооружений.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций, а именно оценка изменения их несущей способности, может осуществляться путем измерения текущих нагрузок на конструкцию, относительных деформаций и перемещений элементов конструкции, соответствующих изменениям внутренних сил и напряжений в их поперечных сечениях. Для этого используются информационно-измерительные системы, оснащенные первичными преобразователями (датчиками), характеризующиеся принципом действия, контролируемые параметрами, дальностью действия, точностью измерений и чувствительностью.

В настоящее время в информационно-измерительных системах контроля технического состояния строительных конструкций применяют следующие первичные преобразователи (датчики):

- тензометрические;
- акустические преобразователи;
- молекулярно-электронные;
- волоконно-оптические.

Тензометрические датчики преобразуют деформации строительных конструкций в электрический сигнал. Это связано с изменением электрического сопротивления датчика при возникновении деформации измеряемого прибора [10]. Тензодатчики могут иметь различные варианты исполнения: проволочные тензодатчики, фольговые тензодатчики, пленочные тензодатчики.

Акустические преобразователи представляют собой чувствительные элементы со спектральным анализом сигналов от волн напряжений в напряженных конструкциях, основанные на измерениях ряда акустических параметров строительных материалов. Установка этих преобразователей возможна как внутри конструкции при строительстве, так и на поверхностях конструкций при эксплуатации.

Молекулярно-электронные преобразователи являются стационарными датчиками для пространственно-временного анализа. Они позволяют точно регистрировать смещения строительных конструкций, вибрации, нормальные и тангенциальные деформации, коррозионные изменения и др.

Волоконно-оптические датчики (ВОД) предназначены для контроля деформаций в элементах строительных конструкций. Действие ВОД основано на зависимости коэффициента отражения света в чувствительном элементе датчика, жестко соединенном с контролируемым строительным конструктивным элементом, от величины деформации этого элемента. Волоконно-оптические датчики, объединенные в единую информационно-измерительную систему, позволяют контролировать не только деформации, но и изменения нагрузок, температуры, влажности, вибрации строительных конструкций и др.

Волоконно-оптические системы мониторинга (ВОСМ) - комплекс контрольно-измерительной аппаратуры (точечные и распределенные волоконно-оптические датчики, интерагаторы, волоконно-оптические линии и мультиплексоры) в сочетании с SCADA-системами, позволяющими в режиме реального времени собирать и обрабатывать данные о различных параметрах объекта мониторинга.

Волоконно-оптические датчики являются относительно новым и чрезвычайно многофункциональным техническим применением оптоэлектроники, волоконной и интегральной оптики. Причины этого кроются в многопараметрической природе самого оптического сигнала – одновременном наличии в нем информации об изменении фазы, амплитуды, длины волны и поляризации во времени и пространстве [1-3]. ВОД и волоконно-оптические измерительные системы (ВОИС) могут иметь распределенные структуры [4], устойчиво работать в течение длительного времени в неблагоприятных условиях:

экстремальных температурах, давлениях, электромагнитных воздействиях, в радиационных, токсичных или агрессивных средах, мало влияющих на оптические волокна. ВОД являются абсолютно безопасными во взрывчатых средах. Важно также то, что ВОД являются легкими, компактными, гибкими и остаются надежными в течение длительного времени эксплуатации и во многих применениях являются потенциально недорогими. На практике ВОД и ВОИС способны решить задачи распределенных измерений, которые невыполнимы с помощью обычных датчиков и измерительных систем.

Например, в целях профилактической диагностики и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, они могут быть встроены в критические сооружения – мосты, плотины, корабли, самолеты, электростанции и другие сооружения, непрерывно контролируя структурную целостность объектов с повышенной точностью и плотностью измерений, тем самым предотвращая возможные катастрофические отказы и разрушения.

С помощью ВОД для мониторинга сооружений определяют следующие параметры:

- давление конструкции на грунт;
- изменения усилий в арматуре;
- линейную деформацию бетона;
- температурные преобразования;
- давление воды на конструкции;
- напряжения (деформации) в конструкциях;
- вибрацию (колебания) здания;
- смещение объекта.

Главным преимуществом любых ВОД является возможность дистанционного мониторинга на расстоянии нескольких километров. В этом случае световод может выступать в качестве кабеля для передачи оптического излучения на чувствительный элемент, расположенный в зоне измерения, и одновременно быть чувствительным элементом датчика. Выполненный из кварцевого стекла световод не боится

влияния погодных условий и агрессивных компонентов городской атмосферы. Отсутствие электроснабжения и каких-либо электрических цепей в световоде исключает возникновение пожароопасной ситуации при эксплуатации ВОД. Оптическое волокно может выступать в качестве кабеля для передачи оптического излучения на чувствительный элемент, расположенный в зоне измерения, а также может одновременно быть чувствительным элементом датчика.

Волоконный световод, являющийся основой любого волоконно-оптического датчика, представляет собой кварцевую нить, структурированную по диаметру. В простейшем случае световод состоит из модифицированного кварцевого сердечника с повышенным показателем преломления и отражающей оболочки из нелегированного кварцевого стекла. В зависимости от области применения сердечник может быть легирован различными элементами: германием, азотом, эрбием, оловом и др. Благодаря добавкам сам световод и датчики на его основе приобретают определенные производственные и эксплуатационные свойства: повышенную чувствительность к температуре, люминесцентные свойства, повышенную термостойкость и повышенную светочувствительность, технологически необходимые для создания ряда волоконно-оптических сенсорных элементов.

Волоконно-оптические датчики представляют собой класс уникальных элементов, обладающих широким диапазоном измеряемых параметров, конструктивной подвижностью и приспособляемостью к различным условиям установки, малыми габаритными размерами, а также способностью выполнять измерения под воздействием мощных электромагнитных полей без потери заданной точности.

Все ВОД можно разделить на два основных типа: распределенные и точечные.

Распределенные датчики используют свойства самого оптического

волокна по всей его длине. Локализованное воздействие на любую часть чувствительного световода может быть зафиксировано по величине и местоположению. Такие датчики в настоящее время широко используются для мониторинга длинных трубопроводов.

Точечные датчики представляют собой конструктивно модифицированный или комбинированный участок волоконного световода и позволяют контролировать параметры в определенной точке или локальной области объекта.

Часто выделяют и третий тип датчиков – квазираспределенные. Такие датчики состоят из массива точечных сенсорных элементов, соединенных единым световодом и единым преобразовательным устройством. В рассматриваемой системе типичным представителем квазираспределенных датчиков могут быть тензодатчики, последовательно объединенные в единую волоконную линию. Такие датчики, обладая всеми преимуществами точечных датчиков, в том числе высокой точностью измерений, позволяют осуществлять разовый мониторинг в различных точках объекта или обеспечивают условно непрерывный мониторинг протяженных объектов.

Рассмотрим классификацию ВОД. Существуют следующие виды ВОД:

1. Интерферометрические датчики:
  - интерферометр Фабри-Перо;
  - интерферометр Маха-Цендера;
  - интерферометр Майкельсона;
  - интерферометр Саньяка.
2. Распределенные датчики:
  - рамановское рассеяние;
  - рэлеевское рассеяние;
  - бриллюэновское рассеяние.
3. Датчики на основе решеток:
  - волоконная решетка Брэгга;
  - длиннопериодная волоконная решетка;
  - чирпированная решетка Брэгга;
  - наклонная решетка Брэгга.

Интерферометрические датчики, лежащие в основе таких датчиков, основаны на известном эффекте световой



интерференции, когда два световых сигнала, взаимодействуя друг с другом, усиливают или гасят друг друга. Эффект зависит от фазы поступающего оптического сигнала, которая изменяется с изменением расстояния, пройденного световым лучом, а именно с изменением так называемого оптического пути.

Принцип работы распределенных датчиков основан на анализе сигнала обратного рассеяния или прямого рассеяния в волокне. Во всех таких системах используется короткий световой импульс, рассеяние которого регистрируется приемной аппаратурой. По времени прихода и величине принятого сигнала можно определить величину и место воздействия на опорное волокно. Точность определения величины воздействия на волокно и его местоположения зависит от длительности импульса и точности определения амплитуды сигнала. Для повышения точности используется многократное усреднение по многим измерениям, что может увеличить время опроса до нескольких минут. Как и в случае интерференционных датчиков, распределенные системы могут быть основаны на различных эффектах: релеевском и рамановском (комбинационном) рассеянии, рассеянии Мандельштама–Бриллюэна и др.

Волоконно-оптические датчики рассеяния активно внедряются в нефтегазовой отрасли для контроля целостности нефте-и газопроводов.

В настоящее время наиболее доступными являются ВОД, основанные

на использовании волоконных решеток Брэгга (ВРБ). ВОД на основе ВРБ создается как основа новой системы мониторинга зданий и сооружений, которая используется для измерения деформаций, вибрации и температуры, что позволяет контролировать перечисленные основные параметры несущих строительных конструкций.

Волоконная решетка Брэгга записывается в оптическом волокне ультрафиолетовым лазером. Они представляют собой участки световода с периодическим изменением показателя преломления вдоль оси. Период решетки определяет ее тип и принцип действия. Наиболее важными в большинстве применений волоконных решеток являются их спектральные характеристики: спектры пропускания и отражения.

Волоконная решетка Брэгга представляет собой участок волоконного световода (как правило, одномодового), в сердцевине которого наведена периодическая структура показатель преломления с периодом  $L$ , имеющая определенное пространственное распределение, схематически показанное на рисунке 1. Как правило, решетка формируется в фоточувствительной сердцевине световода 1, в то время как ПП кварцевой оболочки 2 остается неизменным. Такая структура обладает уникальными спектральными характеристиками, которые и определяют ее широкое применение в различных устройствах волоконной оптики.

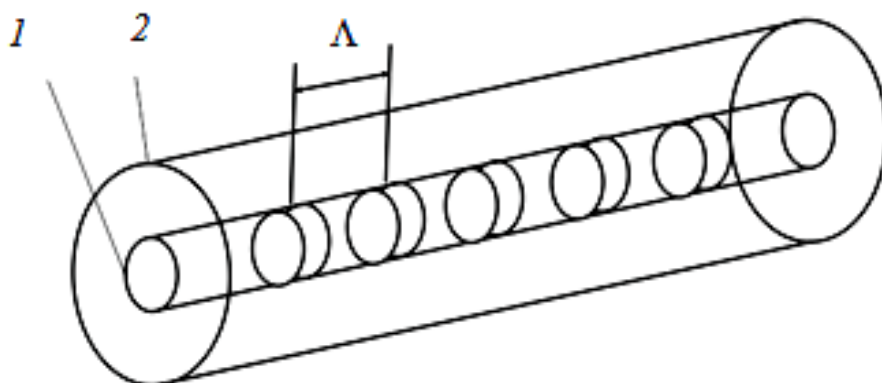


Figure 1 - Schematic representation of a Bragg fiber grating  
Рисунок 1 – Схематическое изображение волоконной решетки Брэгга

Структура ВБР выбирается таким образом, чтобы обеспечить необходимое резонансное взаимодействие между модами световода. Взаимодействие мод световода обычно описывается с помощью теории связанных мод, в рамках которой предполагается, что на определенной длине волны только две моды удовлетворяют условию фазового синхронизма и таким образом могут эффективно передавать друг другу энергию.

Волоконные брэгговские решетки связывают основную моду световода с той же модой, распространяющейся в противоположном направлении. Это означает, что на определенной длине волны, распространяющееся по оптическому волокну излучение отражается от решетки полностью или частично - в зависимости от параметров решетки. Лазеры, используемые для записи ВБР, могут быть как непрерывными, так и импульсными, с длиной волны излучения от инфракрасного до ультрафиолетового диапазона спектра. Среди основных методов записи ВБР выделяют пошаговый метод, метод фазовой маски и интерферометрический метод.

Волоконная решетка Брэгга имеет период, по порядку величины сопоставимый с длиной волны опорного сигнала датчика. Такая решетка обладает

уникальным свойством отражать свет в узком спектральном диапазоне с максимумом на длине волны  $\lambda_B$ , определяемым по закону Брэгга:

$$\lambda_B = 2\Lambda n,$$

где  $\Lambda$  – период решетки;  
– усредненный показатель преломления световода для распространяющейся в нем моды.

Изменение температуры окружающей среды приводит в основном к изменению показателя преломления материала световода. Это, в свою очередь, отражается на изменении длины волны отражения. Для анализа сигнала ВОД с ВРБ датчика используется портативный узкополосный спектрометр. А также механическое воздействие приводит к изменению ее периода. Именно этот эффект лежит в основе оптических тензодатчиков, широко используемых для контроля состояния сложных инженерных сооружений. Одновременный контроль температуры позволяет учитывать температурные деформации объекта, повышая точность измерения. Кроме того, ВОД на основе ВРБ при необходимости может быть оптимизирован для измерения давления и т. п.

ВОД на основе ВРБ имеют чрезвычайно малый вес и размер – всего 0,12 мм в диаметре и 3...5 мм в длину,

высокую чувствительность и малую инертность показаний. Они могут быть установлены в труднодоступных местах. Однако, как упоминалось выше, самым примечательным свойством ВОД на основе ВРБ является возможность их объединения в массивы с использованием одного подводящего световода и одного блока анализатора. Резонансная (Брэгговская) длина волны является уникальным свойством датчика. Датчики с различными значениями этого параметра могут быть безболезненно объединены в последовательную цепь, получив на выходе многопиковый спектральный сигнал. Таким образом, одновременно с помощью всего одного одноканального прибора можно анализировать состояние до сотни датчиков. Это уникальное свойство решеток Брэгга дает существенное преимущество. Вместо использования тяжелых и негабаритных многожильных электрических кабелей достаточно протянуть всего один волоконный световод, соединяющий десятки датчиков с блоком анализатора. Именно благодаря уникальным свойствам большое количество современных сенсорных систем мониторинга состояния конструкций основано именно на волоконно-оптических датчиках на основе ВРБ – наиболее перспективных, надежных и удобных.

Волоконные решетки Брэгга получают разными из-за различий в структуре и фоточувствительности используемых волокон, вдобавок к особенностям условий записи и лазеров, с помощью которых производится запись.

Длиннопериодные решетки. Этот термин относится к брэгговской решетки, которая была получена в результате облучения изменения интенсивности УФ-лучей вдоль решетки. Длиннопериодные решетки содержит множество компонентов решетки  $\Delta L$  в длину и разделяющих их участков без модуляции показателя преломления длины индекса  $\delta l$ , так называемые "мертвые зоны". Следует отметить, что длина компонентов решетки и длины "мертвых зон", может изменяться.

Спектр света, отраженного от такой структуры, имеет ряд узких пиков.

Волоконные длиннопериодные решетки имеют ряд важных применений в различных волоконно-оптических устройствах, таких как волоконные датчики физических величин [6-8], спектрально-селективные поглощающие фильтры, в том числе перестраиваемые, модуляторы оптического излучения и другие. Одним из важных применений длиннопериодных решеток в системах телекоммуникаций: сглаживание спектра усиления волоконных усилителей, применяемых в системах со спектральным уплотнением каналов, а также спектров люминесценции широкополосных источников. Основными достоинствами данного метода являются простота изготовления решеток и их использования, широкий спектральный диапазон и высокое усиление после сглаживания, низкие потери на длине волны накачки, отсутствие отраженной волны.

Основным отличием ДПВР от решеток Брэгга является период изменения показателя преломления в оптическом волокне. Для волоконных решеток Брэгга значение периода имеет тот же порядок, что и длина волны, в то время как для ДПВР значение периода составляет несколько сотен микрометров. В связи с этой физической особенностью ДПВР отличаются простотой изготовления, а также более высокой стойкостью к внешним воздействиям, в частности высоких температур (свыше  $300^{\circ}\text{C}$ ) и ионизирующим излучениям.

Чирпированные решетки. Решетки, период которых варьируется в зависимости от положения вдоль волокна, называются чирпированные решетки. Период может быть изменен различными способами: например, симметрично (по возрастанию или убыванию) до точки, в половине длины решетки. А также может изменяться линейно с длиной решетки или могут быть квадратными. Другой альтернативой является изменение среднего эффективного показателя преломления по длине решетки, что может



быть достигнуто путем изменения амплитуды профиля показателя преломления модуляции, либо сужающегося волокна в области длины решетки. Разные длины волн отражаются от разных участков решетки, имеющих разный период: длинные волны отражаются от участка с большим периодом, короткие волны проходят больший путь и отражаются от области с малым периодом. В результате этого, несмотря на разные скорости длинных и коротких волн, а также пройденные ими расстояния, время их прихода к пункту назначения одинаково.

Благодаря своим характеристикам, чирпированные решетки могут быть использованы, главным образом, в сфере телекоммуникаций, где они используются для компенсации дисперсии для того, чтобы сжать импульсы, расширившиеся в течение времени распространения. Широкополосные чирпированные решетки также могут быть использованы для подавления непоглощенной накачки в эрбиевом усилителе и выравнивания его спектра.

Наклонная решетка Брэгга. 1990 году G. Meltz и др. были первыми, которые ввели наклонные решетки [9]. Наклон плоскости штриха по отношению к оси волоконного световода приводит к эффективной связи с оболочечными и излучающими модами и, таким образом, формирует узкополосный фильтр поглощения, который используется для подавления нежелательного излучения в резонаторах волоконных лазеров и сглаживания спектров люминесценции и усиления.

Это структура, в которой плоскость решетки Брэгга не перпендикулярна оси волокна, но образует угол типично  $45^\circ$ .

Наклонные волоконные решетки Брэгга (НВРБ) могут использоваться в качестве чувствительных элементов для измерения различных физических величин. Одним из их наиболее интересных свойств является способность измерять показатель преломления окружающей среды (ППОС) путем наблюдения за поведением

оболочки. Применение НВРБ в измерении показателя преломления (ПП) позволяет достичь высокой чувствительности и повторяемости при сохранении относительно низкой чувствительности к перекрестным помехам. Наклонные решетки Брэгга сохраняют почти все преимущества датчиков на основе традиционных решеток, таких как способность дистанционного зондирования, и используются для создания многопараметрических датчиков чрезвычайно малого веса и размера, что позволяет встраивать или прикреплять датчики к проверенным структурам. Изменения ПП оказывают влияние на спектр передачи НВРБ при условии, что исследуемое вещество будет охватывать оболочку секции оптического волокна с чувствительным элементом. В результате на моды, распространяющиеся на границе между оболочкой волокна и окружающим веществом, будут влиять изменения показателя преломления. НВРБ обладают уникальными способностями к восприятию.

Поскольку показатель преломления сердцевины выше, чем самый высокий эффективный показатель мод оболочки, на эти волокна просто направить свет от полного внутреннего отражения. Особенность НВРБ состоит в том, что они чувствительны к окружающему показателю преломления вне решетки, благодаря которым они могут функционировать как рефрактометры [7-9] и концентраторы [10, 11]. НВРБ, которые имеют большие углы наклона, также чувствительны к состоянию поляризации инцидента свет. Следовательно, они могут служить поляриметрами [12-14], датчиками скручивания [15] и зависящими от поляризации потери тембрами звука [16].

Основным параметром, влияющим на спектральный характер наклонной решетки, является угол наклона плоскостей модуляции. Увеличение угла означает, что спектр показывает потери мощности для режимов мантии на все более коротких длинах волн.

Спектр пропускания НВБР  $T(\lambda)$  содержит десятки спектральных провалов, полученных из мод оболочки. Угол наклона определяет, какие моды будут видны в спектре и с какой интенсивностью. Под влиянием внешних изменений показателя преломления изменяются как амплитуда, так и длина волны спектральных линий.

#### **Заклучение.**

Применение волоконно-оптических датчиков для мониторинга состояния различных промышленных конструкций в настоящее время является весьма перспективным. Волоконно-оптические

датчики на основе волоконных решеток Брэгга отличаются оперативностью, информативностью и достоверностью выдаваемых параметров, которые необходимы для принятия решений при исследовании чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах. Исследования проводились в рамках проекта ГФ №АР09259547 «Разработка системы из распределенных волоконно-оптических датчиков на основе волоконных решеток Брэгга для контроля состояния строительных конструкций» ИИВТ КН МОН РК.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. М.: Энергоатомиздат, 1990.- 256 с.
- [2] Волоконно-оптические датчики/ Окоси Т., Окамото К., Оцу М. и др; -Л.: Энергоатомиздат, 1991. -256 с.
- [3] Labs J. Verbindungstechnik für Lichtwellenleiter. -Berlin, Technik, 1989. -287 s.
- [4] Распределенные волоконно-оптические датчики и измерительные сети/Кульчин Ю.Н. -М: Физматлит, 2001. -272 с.
- [5] Васильев, С.А. Волоконные решетки показателя преломления и их применения / С.А. Васильев, О.И. Медведков, И.Г. Королев, А.С. Божков, А.С. Курков, Е.М. Дианов // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35, № 12. – С. 1085-1103
- [6] Вуйцик В., Кашаганова Г.Б. Исследование спектральных характеристик волоконных брэгговских решеток //Труды II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика». – Алматы, Казахстан, 3-4 декабря 2015.– Т.II. – С. 77-81.
- [7] Амиргалиева С., Кашаганова Г., Калижанова А., Картбаев Т. Волоконно-оптические датчики на основе волоконных решеток Брэгга Вестник КазНУТУ №3 (127) 2018 с.347-355 ISSN: 1680 – 9211
- [8] Вуйцик В., Калижанова А.У., Кисала П., Кашаганова Г.Б., Козбакова А.Х. Измерительная система с использованием волоконно-оптических датчиков с волоконной решеткой Брэгга Вестник КазНУТУ №2 (132) 2019 с.517-523 ISSN: 1680 – 9211
- [9] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "In-fiber Bragg grating tap," in *Conference on Optical Fiber Communications, OFC'90*, San Francisco, Calif, 1990, p. TUG1.
- [10] K. Zhou, X. Chen, L. Zhang, I. Bennion, Optical chemsensors based on etched fibre Bragg gratings in D-shape and multimode fibres, Bruges, Belgium (2005).
- [11] K. Zhou, X. Chen, L. Zhang, I. Bennion, *Measurement Science and Technology*, 17, 1140(2006).
- [12] J. Peupelmann, E. Krause, A. Bandemer, C. Schaffer, *Electronics Letters*, 38, 1248(2002).
- [13] A. Bouzid, M. A. G. Abushagur, A. El-Sabae, R. M. A. Azzam, *Optics Communications*, 118, 329(1995).
- [14] P. S. Westbrook, T. A. Strasser, Compact, in-line, all-fiber polarimeter using fiber gratings, Baltimore, MD, USA(2000).

[15] X. Chen, K. Zhou, L. Zhang, and I. Bennion, IEEE Photonics Technology Letters, 18, 2596(2006).

[16] S. J. Mihailov, R. B. Walker, T. J. Stocki, D. C. Johnson, Electronics Letters, 37, 284(2001)

## REFERENCES

[1] Busurin V.I., Nosov Yu.R. Fiber Optic Sensors: Physical Basics, Calculation and Application Issues. М.: Energoatomizdat, 1990. - 256 p Fiber optic sensors / Okoshi T., Okamoto K., Otsu M. et al; -L.: Energoatomizdat, 1991.-256 p.

[2] Labs J. Verbindungstechnik für Lichtwellenleiter. -Berlin, Technik, 1989.-287 s.

[3] Distributed fiber-optic sensors and measuring networks / Kulchin Yu.N. -M: Fizmatlit, 2001.-272 p.

[4] Vasiliev, S.A. Fiber gratings of the refractive index and their applications / S.A. Vasiliev, O. I. Medvedkov, I.G. Korolev, A.S. Bozhkov, A.S. Kurkov, E.M. Dianov // Quantum Electronics. - 2005. - Т. 35, No. 12. - S. 1085-1103

[5] Vuytsik V., Kashaganova G.B. Investigation of the spectral characteristics of fiber Bragg gratings // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Information and Telecommunication Technologies: Education, Science, Practice". - Almaty, Kazakhstan, 3-4 December 2015.- Vol. II. - S. 77-81.

[6] Amirgalieva S., Kashaganova G., Kalizhanova A., Kartbaev T. Fiber-optic sensors based on Bragg fiber gratings Bulletin of KazNRTU No. 3 (127) 2018 p.347-355 ISSN: 1680 - 9211

[7] Vuytsik V., Kalizhanova A.U., Kisala P., Kashaganova G.B., Kozbakova A.Kh. Measuring system using fiber-optic sensors with Bragg's fiber grating Bulletin KazNRTU №2 (132) 2019 p.517-523 ISSN: 1680 - 9211

[8] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "In-fiber Bragg grating tap," in Conference on Optical Fiber Communications, OFC'90, San Francisco, Calif, 1990, p. TUG1.

[9] K. Zhou, X. Chen, L. Zhang, I. Bennion, Optical chemsensors based on etched fiber Bragg gratings in D-shape and multimode fibers, Bruges, Belgium (2005).

[10] K. Zhou, X. Chen, L. Zhang, I. Bennion, Measurement Science and Technology, 17, 1140 (2006).

[11] J. Peupelmann, E. Krause, A. Bandemer, C. Schaffer, Electronics Letters, 38, 1248 (2002).

[12] [A. Bouzid, M. A. G. Abushagur, A. El-Sabae, R. M. A. Azzam, Optics Communications, 118, 329 (1995).

[13] P. S. Westbrook, T. A. Strasser, Compact, in-line, all-fiber polarimeter using fiber gratings, Baltimore, MD, USA (2000).

[14] X. Chen, K. Zhou, L. Zhang, and I. Bennion, IEEE Photonics Technology Letters, 18, 2596 (2006).

## АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СОВРЕМЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Алия Калижанова**, к.ф.-м.н, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан; kalizhanova\_aliya@mail.ru

**Гулжан Кашаганова**, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан; guljan\_k70@mail.ru

**Айнур Козбакова**, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан; ainur79@mail.ru

**Дидар Едилхан**, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Астана IT университет, Нурсултан, Казахстан; yedilkhan@gmail.com

**Жазира Амиргалиева**, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан; zh.amirgaliyeva@gmail.com

**Жасулан Оразбеков**, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан; o.jas@mail.ru

## **МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ КҮЙІН БАҚЫЛАУ ҮШІН ӘРТҮРЛІ ЗАМАНАУИ ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ ДАТЧИКТЕРДІ ЖОБАЛАУ МЕН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ ТӘЖІРИБЕСІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ**

**Әлия Қалижанова**, ф.-м. ғ. к., ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан; kalizhanova\_aliya@mail.ru

**Гүлжан Қашағанова**, PhD, ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан; guljan\_k70@mail.ru

**Айнұр Козбакова**, PhD, ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы технология университеті, Алматы, Қазақстан; ainur79@mail.ru

**Дидар Едилхан**, PhD, ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Астана IT университеті, Нурсултан, Қазақстан; yedilkhan@gmail.com

**Жазира Амиргалиева**, PhD, ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан; zh.amirgaliyeva@gmail.com

**Жасулан Оразбеков**, PhD, ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан; o.jas@mail.ru

**Аңдатпа.** Бұл мақалада өнеркәсіп нысандарының конструкциясына шолу жасалып, мониторинг мәселелері қаралды. Мониторинг әдістері мен құралдары талданды. Мониторинг жүйесінің негізгі элементі ретінде талшықты-оптикалық датчиктерді пайдалану ең тиімді тәсілдер болып табылады. Мониторинг жүйесінде осындай датчиктерді пайдалану өлшеуді неғұрлым жеңілдетуге және дұрыс деректер алуға, сондай-ақ бір мезгілде әртүрлі шамаларды өлшеудің барлық жаңа нұсқаларын алуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** Мониторинг, мониторинг әдістері, талшықты-оптикалық датчиктер, талшықты Брэгг торлары, талшықты тор түрлері.