

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Смайллова Н.К. на тему «Исследование и моделирование волоконно - оптического сенсора температуры на основе решетки Брэгга», представленной на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Актуальность работы.

Развитие волоконно-оптических технологий и их внедрение в измерительные системы создает целый ряд преимуществ таких систем перед ранее известными электронными прототипами. Вследствие этого, волоконно-оптические сенсоры температуры в последнее время находят большое практическое применение в самых различных отраслях науки и техники, в частности, когда точка определения температуры находится на большом расстоянии или где установление температуры является опасной или трудновыполнимой задачей. Волоконно-оптические сенсоры температуры широко используются для измерения температуры и давления во взрывоопасных средах с интенсивным электромагнитным излучением, в нефтегазовых трубах, а также с целью определения температуры в местах прохождения магистральных волоконных сетей.

Измерение температуры является одним из важных параметров для контроля и обеспечения безопасности энергетических объектов. Благодаря свойствам света и оптического волокна, волоконно-оптические термометры способны производить измерение температуры в условиях сильных электромагнитных помех с высоким временным и пространственным разрешением и весьма высокой точностью. К настоящему времени известен целый ряд разработок в области ВОИД температуры и усовершенствование таких систем является перспективным направлением в измерительной технике.

К оптоволоконным сенсорам предъявляются следующие требования:

- высокая точность измерения и его надежность;
- простота и технологичность конструкции;
- эргономичность веса и формы прибора;
- отсутствие металлических элементов;
- малая инерционность датчика;
- невысокая стоимость.

Самое основное требование из вышеперечисленных, это отсутствие металлических элементов. Поскольку отсутствие активных элементов (транзисторов, сопротивления, конденсаторов, индуктивных катушек, логических элементов) дает возможность беспрепятственной установки используемых пассивных сенсоров в любых труднодоступных для человека местах – между внутренними и внешними слоями в воздушных и водных суднах, вне зависимости от давления и влажности. Также, при установке сенсора внутри трубы, используемой для транспортировки различных

жидкостей, вне зависимости от ее длины, дает возможность определить параметры давления и температуры в любой точке данной трубы.

Преимуществами оптоволоконных сенсоров являются: защищенность от воздействия электромагнитных полей, высокая чувствительность, надежность, воспроизводимость и широкий динамический диапазон измерений, малые габариты и вес, высокая коррозионная и радиационная стойкость, электроизоляционная прочность, пожаробезопасность, возможность спектрального и пространственного мультиплексирования чувствительных элементов, расположенных в одном или в нескольких световодах, значительное расстояние до места проведения измерений, малое время отклика.

Одним из новых и перспективных вариантов ВОД температуры и механических деформаций являются сенсоры с использованием волоконных решеток показателя преломления (брэгговских решеток) в качестве чувствительного элемента – они обладают свойством отражать излучение на определенной длине волны. Сенсоры, работающие на основе технологии использования волоконных решеток Брэгга, по причине прямолинейной зависимости от температуры, показывают более точную температуру, измеренную с помощью ВРБ, по сравнению с сенсорами, работающими на основе других физических явлений.

Исходя из вышеизложенного, главной целью работы является исследование и моделирование волоконно-оптического сенсора температуры на основе решетки Брэгга. Невозможно построить универсальную единичную модель, подходящую ко всем моделям сенсора, основанных на использовании решеток Брэгга, поскольку каждый отдельный сенсор конструируется с учетом разных диапазонов температуры и других внешних воздействий.

Пути решения поставленной задачи представлены в выводах многочисленных научных работ, и в настоящее время достаточно широко используются. При моделировании и создании решетки Брэгга необходимо учитывать набор основных параметров решетки в зависимости от каждой задачи. В связи с этим, рассматриваются более приемлемые пути решения задач с применением предлагаемой нами модели. К тому же, в научной работе для спектра отраженного луча, процесс значительного снижения второго и третьего гармонического колебания с помощью аподизации, рассматривается как устойчивый процесс, где функцию сдвига длины волны, которая зависит от определенно взятой температуры, можно решить методом матриц, и это является путем решения поставленной задачи по объективному определению прямолинейной связи.

Поскольку спектр обратного рассеяния ВБР является очень тонким, его используют в волоконных лазерах как инструмент, который выявляет и определяет оптоволоконные данные. При использовании в качестве инструмента выявления оптоволоконных данных на основе решеток Брэгга, измеряемые условия (температура или давление, обусловленное внешними силами) основываются на сдвиге значения длины волны Брэгга

(отправленная по волокну и обратно рассеянная волна света). Регистрирующая система преобразует сдвиг длины обратно рассеянной волны Брэгга в «электронные сигналы». Почти во всех научных трудах, посвященных оптоволоконным сетям, для указания различий между понятиями «электрический сигнал» и «оптический сигнал» укоренилось их неизменное использование. На самом деле эти два сигнала по природе являются электромагнитными волнами, различия заключаются лишь в том, что они имеют разную длину волн и плотность. Так как в части ВБР определяющего сенсора, которая реагирует на воздействие внешней среды, отсутствуют активные электронные приспособления, и сенсор является полноценным пассивным устройством, его широко используют в качестве сенсора, работающего на основе технологии использования ВБР, во взрывоопасных, агрессивных средах, средах с мощным электромагнитным излучением, а также на больших расстояниях.

На одно волокно можно разместить несколько решеток Брэгга, где каждая решетка отвечает за свою длину волн, и, следовательно, сигналы, измеряющие разные длины волн, могут использоваться для разных целей. В этом случае вместо определителя данных в одной точке используется мультиплексированная по длинам волн регистрирующая сеть. За счет использования световых волн в качестве информационного параметра, обеспечивает долговременную и устойчивую работу источников лучей и приемников определителя данных ВБР и порождает расширение отраслей использования за счет круглосуточной работы системы аварийного отключения оптического сигнала в волокне.

Цель диссертационной работы. Главной целью работы является построение модели сенсора с решеткой Брэгга, в процессе построения модели исследовать основные характеристики сенсора и сравнить их с практическими результатами.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ современного состояния волоконно-оптических измерителей температуры;
- исследование и моделирование конструкции волоконно-оптического датчика температуры, не содержащего металлических и полупроводниковых элементов;
- определение закономерности температурной зависимости сенсора, работающего на основе технологии использования решеток Брэгга от показателя эффективного преломления и значения периода решетки Брэгга;
- с целью установления перечисленных закономерностей организовать практическую лабораторию и утвердить спектральные характеристики температурного диапазона сенсора;
- анализ полученных экспериментальных и теоретических результатов работы.

Объектом исследования является моделирование температурного сенсора, работающего на основе технологии использования оптоволоконных

решеток Брэгга. Суть исследования – проанализировать наилучшие результаты характеристик ВБР спектра.

Научная новизна диссертационной работы:

- Определена закономерность температурной зависимости эффективного преломления;
- Впервые получены закономерности температурной зависимости периода решетки Брэгга;
- Получены новые данные по спектральным и температурным свойствам оптоволоконного сенсора, работающего на основе технологии использования решетки Брэгга;
- Проведены исследования спектральных и температурных характеристик оптоволоконного сенсора, работающего на основе технологии использования решетки Брэгга.

Методы исследования.

В процессе реализации поставленных целей были выполнены практические исследования и выявленные результаты сопоставлены с результатами математического моделирования.

Практическая значимость работы.

Научные и практические результаты диссертационной работы найдут применение при создании волоконно-оптических измерительных систем, нечувствительных к влиянию сильных электрических и магнитных помех, который повышает способность моделирования температурного сенсора.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, полезны в учебном процессе технических ВУЗов, при создании современных курсов лекций. По результатам данной диссертационной работы получен акт внедрения при изготовлении волоконных решеток Брэгга и исследовании их спектральных характеристик в лаборатории «Оптоэлектроника» Люблинского Технического Университета (Польша, г. Люблин).

Апробация работы. Результаты диссертационной работы обсуждались на следующих конференциях: «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» Международных Сатпаевских чтений (Алматы, 2015, 2016); «Информационные и телекоммуникационные технологии, образование, наука, практика» II Международной научно-практической конференции (Алматы, 2015); Совместный выпуск по материалам международной научной конференции «Вычислительные технологии» и Вестник КазНУ им. Аль – Фараби, Серия математика, механика и информатика, №3 (86), Часть II, Алматы – Новосибирск, 2015; Центр наукових публікацій збірник наукових публікацій «ВЕЛЕС» II Міжнародна Конференція «Весняні Наукові Читання», Київ, 28квітня 2016р, «Конкурентоспособность технической науки и образования», посвященные 25-летию независимости, II том, Алматы, 2016; Научно – информационный центр «Знание», сборник статей XX международной конференции «Развитие науки в XXI веке», г. Харьков, 2016.

Публикации. По результатам научной работы были опубликованы 12 статей, из них 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных КН МОН РК,

2 публикации в журналах, входящих в базу Scopus, 7 публикаций в материалах международных конференций, из них 3 статьи в материалах зарубежных конференций.

Объем и структура диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем диссертации составляет 142 страницы, 82 рисунка, 6 таблиц, список цитированной литературы содержит 90 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи работы, кратко изложена структура работы и ее содержание, представлена научная новизна, а также определена практическая ценность полученных результатов и приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору современного состояния проблемы волоконно-оптических акустических сенсоров и постановке задач исследования. Подробно рассмотрены сенсоры решетки Брэгга. Показано, при каком условии и диапазоне они измеряют температуру окружения, а также изменения диапазона длины волн, который совпадает с диапазонами решетки Брэгга. Представлены особенности и недостатки по изготовлению технологии описания спектров решетки Брэгга. В конце главы сформулированы основные задачи работы и выбраны методы их решения.

Во второй главе указаны основные параметры, описывающие изменения закономерности решетки Брэгга, также были исследованы закономерности строения решетки Брэгга и связи между собой.

Третья глава посвящена поиску путей создания и исследованию чувствительных элементов волоконно-оптического акустического датчика на брэгговских решетках. Проведено экспериментальное исследование относительного увеличения чувствительности решетки Брэгга. Она определяется при эффективных значениях показателя преломления - Λ и n_{eff} . Исследование показало, что эти два параметра зависимы от внешней температуры и давления. На основе этой зависимости были выполнены исследования сенсора, основанного на решетке Брэгга.

В четвертой главе представлены результаты испытаний созданной математической модели для проверки практических результатов с помощью компьютера, для этого были использованы методы матрицы и входящие параметры сенсора решетки Брэгга. Результаты испытаний показывают, что предложенная концепция перспективна, и может быть использована при создании волоконно-оптических сенсоров.

В заключении отражены основные результаты и выводы диссертационной работы.

По теме диссертации опубликовано 12 публикаций

1 Жунусов К.Х. Касимов А.О Смайлов Н.К. //Исследование методов затухания волоконно – оптической линии связи «Рол и место молодых

ученых в реализации новой экономической политики Казахстана »
Международных Сатпаевских Чтений Том IV //Алматы 2015г С.174-177

2 PioterKisala, Wojcic W., Smailov N., KalizhanovaA.,Damian H.Elongation determination using finite element and boundary element methodint. Journal of electronics and telecommunications, 2015, VOL. 61, NO. 4, PP. 389-394 Manuscript received October 15, 2015; revised December, 2015. DOI: 10.2478/eletel-2015-0051

3 WojcicW. Жунусов К.Х., Смайлов Н.К. //Қазіргі замандағы талшықты-оптикалық байланыс желілері мен брэг торының температураға тәуелділігін анықтау. «Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар: білім, ғылым, тәжірибе» атты II Халықаралық ғылыми-тәжірбиелік конференцияның ЕҢБЕКТЕРІ //Алматы, Қазақстан, 3-4 желтоқсан, 2015 жыл II том С. 306-309

4 Утепбергенов И.Т.Оразымбетова А.К., Смайлов Н.К. //Длительность импульса, вводимого под углом к оси, от температурного воздействия на МОВ. Вестник ПГУ, Энергетическая серия, №4(2015) ПавлодарС. 97-101

5 Mykhailo M. Kutsyk; Yosyp Y. Ráti; Vitalii Y. Izai; Ivan I. Makauz; Ihor P. Studenyak; Sandor Kökényesi; Paweł Komada; Yerkin Zhailaubayev., Smailov Nurzhigit. //Temperature behaviour of optical parameters in (AG3ASS3)0.3(AS2S3)0.7 THIN FILMS Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering20159816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98160B (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229336

6 Утепбергенов И.Т. Оспанова Н.А., Смайлов Н.К. //Алгоритм поиска неисправностей на ВОСП Вестник ПГУ Энергетическая серия //Издается с 1997 года№4(2015) Павлодар

7 Waldemar Wojcik., Жунисов К.Х., Смайлов Н.К.,Жетписбаев К.У., МедетовБ.Ж. //Моделирование волоконно-оптических сенсоров температуры на основе брэгговской решетки «Весенние научные чтения» Международная мульти дисциплинарная конференция //28 апреля 2016 годаг. Киев, С. 102-109

8 WojcicW. Жунусов К.Х., Смайлов Н.К. //Исследование спектральной характеристики оптоволоконных датчиков температуры //Вестник КазНУТехнические науки№1(113) Алматы 2016 январьС. 293-297

9 Wojcic W. Жунусов К.Х., Смайлов Н.К. //Брэгг торынан жасалған температура сенсорларының сипаттамаларын зерттеу. «Конкурентоспособность технической науки и образования» Посвященные 25-летию Независимости Республики Казахстан //Халықаралық Сәтбаев оқуларының еңбектері Алматы қаласы 12 апрель 2016

10 Wojcic W., Kalizhanova A., Kashaganova G., Smailov N. //Elongation determination using finite element and boundary element method //Совместный выпуск По материалам международной научной конференции Вычислительные технологии Том 20 Вестник казну им. Аль-фараби Серия математика, механика и информатика №3 (86) Часть II Алматы – Новосибирск, 2015 С. 145-151 ISSN 1560-7534, ISSN 1563-0285.

11 Ibrayev A.T., Zhunussov K., Smailov N., Tleumuratova K.T. //Study of temperature sensors based on bragg grating Magyar Tudomanyos Journal (Budapest, Hungary) The journal is registered and published in Hungary. //The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields. № 4 (2017) ISSN 1748-7110 P.62-67

12 Ibrayev A.T. Smailov N.K. //Study parameters of fiber optic temperature sensors. //Научно – информационный центр «знание» сборник статей XX международная конференция «развитие науки в XXI веке» 13.12.2016г, 1 часть г. Харьков 2016 ISSN 5672-2605