

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию Шелембы Ивана Сергеевича «Методы опроса распределенных волоконно-оптических измерительных систем и их практическое применение», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертация И.С.Шелембы посвящена моделированию и экспериментальной реализации методов опроса распределенных волоконно-оптических измерительных систем и созданию на этой основе новых эффективных и недорогих волоконных устройств опроса для практических применений. Данное направление исследований является актуальным в связи с тем, что оптоволоконные технологии измерения физических параметров являются одной из наиболее быстроразвивающихся областей прикладной оптики благодаря уникальным свойствам распределенных волоконных датчиков, которые широко используются в решении различных научных и практических задач, в которых необходимо измерять температуру, деформации и другие параметры протяжённых объектов. В частности, распределенные волоконные датчики используются в угле-, нефте- и газодобыче для измерения температуры в скважинах, мониторинга трубопроводов и элементов конструкций в капитальном строительстве и энергетике, а также в системах пожарной сигнализации.

Диссертационная работа И.С.Шелембы представляет собой комплексное исследование методов опроса распределенных волоконных сенсорных систем (как на основе массива волоконных брэгговских решёток (ВБР), так и на основе комбинационного рассеяния света в пассивном световоде) в полностью волоконном варианте, максимально пригодных для практических применений.

Во введении описывается область исследований и ее состояние на момент начала работы, определяются цели и задачи, обосновываются актуальность и научная новизна работы. Приводится изложение основного содержания работы по главам и данные о публикациях по теме диссертации, в конце формулируются защищаемые положения.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена описанию физических основ точечных и распределенных сенсорных систем. Для точечных ВБР- датчиков рассмотрены методы разделения вкладов деформации и температуры, описаны принципы мультиплексирования ВБР в схемах с временным и спектральным разделением каналов и создания на этой основе квази-распределенных сенсорных систем. Далее рассмотрены три типа распределенных систем, использующих рэлееское, комбинационное (рамановское) рассеяние и рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, отмечены их особенности, обусловленные соответствующими физическими процессами.

Вторая глава посвящена квази-распределенным системам на основе массива ВБР-датчиков с устройством опроса на основе узкополосного перестраиваемого лазера с диапазоном перестройки 1530-1580 нм. Приведены зависимости мощности перестраиваемого лазера от длины волны генерации, определяемой резонансной длиной волны ВБР, перестраиваемой методом сжатия с помощью шагового двигателя. Предложен и реализован способ решения проблемы нелинейности перестроечной кривой ВБР, основанный на применении термостабилизированных реперных ВБР и интерферометра Маха-Цандера с областью свободной дисперсии ~30 ГГц. Отмечено, что данный метод позволяет реализовать устройство опроса до 90 ВБР датчиков с точностью 0.5-1⁰С. Далее описана практическая реализация многоканальной системы измерения температуры на базе ВБР датчиков, разработанная для измерения температуры элементарных проводников обмотки статора при стендовых испытаниях турбогенератора мощностью 225 МВт производства филиала ОАО «Силовые машины»-«Электросила», а также автоматизированная система мониторинга технического состояния несущих конструкций футбольного манежа

Третья глава посвящена разработке распределенной сенсорной системы на основе комбинационного рассеяния (КР) с использованием пробного сигнала от эрбиевого волоконного лазера с модуляцией добротности. Предложен и реализован новый метод фильтрации стоковой и антистоковой компонент на основе ВБР и направленных

спектрально-селективных ответвителей, который позволил производить измерения интенсивности компонент КР в широком спектральном диапазоне с минимальными потерями. Чувствительность разработанного датчика по температуре составила несколько градусов для одномодовой волоконной линии протяжённостью до ~10 км, пространственное разрешение ~10 м. Далее описана конструкция разработанных распределенных волоконно-оптических измерительных систем на основе многомодового оптического волокна, описаны функциональные схемы оптической и электронной частей блока обработки. На этой основе созданы и опробованы на практике промышленные образцы пожарного извещателя и системы термометрии нефтяных скважин, а также низкотемпературной диагностики высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) кабельной линии КЛ.

В диссертации И.С.Шелембы получены следующие **основные результаты**:

-Реализована полностью волоконная схема устройства опроса брэгговских датчиков на основе эрбиевого лазера с перестраиваемой ВБР, интерферометром Маха-Цандера для устранения нелинейностей перестраиваемой ВБР, и термостабилизированными ВБР для привязки к абсолютному значению длины волны. Точность определения длины волны составила 15 пм для диапазона перестройки 20 нм и 30 пм для диапазона 45 нм.

-Реализована схема устройства опроса ВБР датчиков с гибридным (одновременно временным и спектральным) типом мультиплексирования на основе рефлектометра и перестраиваемой брэгговской решетки. Достигнута чувствительность деформации ВБР $\sim 0.5 \times 10^{-4}$. Предложено применение метода для мониторинга датчиков конечных положений.

-Разработана схема опроса распределенного датчика температуры на основе комбинационного рассеяния в одномодовом и многомодовом волокнах с использованием импульсного волоконного лазера и волоконных фильтров стоксова и антистоксова излучения на основе спектрально-селективных ответвителей. Реализованы коммерческие версии приборов с характеристиками на уровне мировых аналогов: температурное разрешение $0,4^\circ\text{C}$ на длине 16 км.

-При помощи массива ВБР датчиков, встроенных в изоляцию токоведущих элементов, впервые измерено распределение температуры проводников статора мощного турбогенератора. На базе обработки полученных температурно-временных зависимостей оптоволоконных датчиков на протяжении полного цикла испытаний определен эквивалентный коэффициент теплопроводности корпусной изоляции и средний коэффициент теплоотдачи с поверхности обмотки в лобовой зоне статора.

-Реализована автоматизированная система мониторинга технического состояния несущих конструкций футбольного манежа на основе оптоволоконных датчиков. Приведены результаты долговременного наблюдения за конструкцией. Зафиксированы ежегодные деформации стержней центрального прогона (до 300 микрострейн) и перемещения в коньке (до 56 мм), обусловленные снеговой нагрузкой на конструкцию в зимний период.

-Предложена и реализована оригинальная система пожарного извещения на основе распределенного датчика температуры, позволяющая контролировать протяженные объекты длиной до 8000 метров с использованием одного блока детектирования.

- Реализована система мониторинга температуры токоведущих и конструктивных элементов ВТСП при азотных температурах. Показана динамика захлаживания сверхпроводника.

-Реализована система мониторинга нефтяных скважин, позволяющая измерять температуру в диапазоне $-50+250^\circ\text{C}$ на длине до 4000 метров. Продемонстрирована динамика распределения температуры по глубине скважины в режимах закачки пара и добычи высоковязкой нефти.

Научная новизна и практическая значимость работы подтверждается большим количеством публикаций в рейтинговых международных журналах и сборниках трудов конференций, а также патентами и актами внедрения. Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности, а автореферат полностью отражает ее содержание.

