

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ

А.Д. Проскуряков, И.И. Нуреев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В данной статье представлена радиофотонная система контроля уровня воды, основанная на датчике гидростатического давления, в котором используются две последовательные адресные волоконные брэгговские структуры с мембраной.

Ключевые слова: радиофотонные измерения, адресная волоконная брэгговская структура, датчик гидростатического давления, контроль уровня воды.

Введение

Непрерывное определение уровня воды по показаниям гидростатического давления в резервуарах является неотъемлемой частью таких промышленных приложений, как химическая переработка, хранение и транспортировка товарной воды, атомная энергетика, очистные сооружения и др. Для определения этого параметра были предложены различные методы измерения гидростатического давления, основанные на акустических, механических, электронных и фотонных технологиях [1]. Устройства для измерения гидростатического давления по конечному назначению будем называть датчиками уровня воды (ДУВ).

Среди ДУВ, широкое распространение получили оптоволоконные датчики благодаря малым размерам, компактной конструкции, низкой стоимости и простоте изготовления [1]. Оптоволоконные датчики в процессе измерения уровня воды предназначены в основном для регистрации изменения фазы, длины волны и интенсивности зондирующего их лазерного излучения. В качестве стандартных сенсорных структур широко используются волоконные брэгговские решетки (ВБР) и длиннопериодные брэгговские решетки, ДУВ на основе поверхностного плазмонного резонанса, интерферометры Фабри-Перо и Маха-Цендера. Последнее время в ДУВ начали применяться адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС) [2]. Благодаря простоте изготовления, высокой стабильности и возможности повторного использования ВБР стали одними из основных структур для применения в точечных решениях, а АВБС - в многосенсорных. Однако у ВБР есть один существенный недостаток: относительное смещение длины волны Брэгга чувствительно как к гидростатической деформации, вызванной уровнем жидкости, так и к температуре окружающей среды. Таким образом, для более точного измерения уровня жидкости требуется метод температурной компенсации.

Материалы и методы

В работе предложены ДУВ мембранного типа на основе двух последовательных адресных волоконных брэгговских структур (2 π -АВБС). АВБС представляет собой структуру в оптическом волокне, которая при воздействии широкополосного лазерного

излучения формирует двухчастотный сигнал с разностной частотой в радиочастотной области. Эта разностная частота инвариантна к воздействию физических полей и не изменяется при смещении центральной частоты АВБС, что обеспечивает температурную компенсацию.

Использование двух последовательных 2π -АВБС позволяет снизить уровень коллизий по ложным адресам, характерных для одинарных АВБС в многосенсорных системах. Мембранная конструкция датчиков исключает прямой контакт сенсора с жидкостью, повышая механическую надёжность.

Результаты исследования

Разработана структурная схема радиофотонной системы контроля уровня воды на основе пассивной оптической сети сбора данных. Система включает множество ДУВ, каждый из которых содержит две последовательные 2π -АВБС. Применение АВБС обеспечивает:

1. Адресное мультиплексирование датчиков в сети.
2. Температурную компенсацию измерений.
3. Использование конструктивно простых радиофотонных интеррогаторов.

Анализ показал, что использование двух последовательных 2π -АВБС позволяет достичь более высокой точности измерений по сравнению с системами на основе одиночных волоконных брэгговских решёток (ВБР), которые чувствительны как к гидростатической деформации, так и к температуре.

Обсуждение

Предложенный подход к построению ДУВ на основе двух последовательных 2π -АВБС и мембраны имеет ряд преимуществ перед традиционными решениями. Во-первых, мембранная конструкция защищает волоконно-оптический сенсор от непосредственного контакта с агрессивными жидкостями, увеличивая срок службы датчика. Во-вторых, использование АВБС с инвариантной разностной частотой решает проблему температурной компенсации, которая является существенным недостатком обычных ВБР. В-третьих, применение двух последовательных АВБС снижает вероятность коллизий адресов в многосенсорных системах, что повышает надёжность работы всей сети.

Заключение

Разработана радиофотонная система контроля уровня воды в резервуарах на основе датчиков гидростатического давления мембранного типа с двумя последовательными 2π -АВБС. Система обеспечивает температурную компенсацию измерений, адресное мультиплексирование датчиков и повышенную механическую надёжность за счёт исключения прямого контакта сенсора с жидкостью. Предложенное решение является перспективным для применения в промышленных системах мониторинга уровня жидкостей.

Список литературы

1. Нуреев, И.И. Пассивная волоконно-оптическая квазираспределённая сенсорная сеть контроля уровня воды в дискретных точках резервуара с адресным мультиплексированием / И.И. Нуреев, А.Д. Проскуряков и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2024. – № 1(61). – С. 77-90.

2. Морозов, О.Г. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах / О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43. – № 4. – С. 535-543.

MICROWAVE PHOTONICS HYDROSTATIC PRESSURE SYSTEM FOR MONITORING THE WATER LEVEL IN THE TANK

A.D. Proskuryakov, I.I. Nureyev

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Abstract. This paper presents a microwave photonics water level monitoring system based on a hydrostatic pressure sensor that uses two sequential address fiber Bragg structures with a membrane.

Keywords: microwave photonic measurements, instantaneous frequency measurement, frequency comb, photodetection, radar signals.

Статья представлена в редакцию 26 декабря 2025г.