

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Белорусский государственный университет. Минск, Республика Беларусь. polyakov@bsu.by

Разработана структура автоматизированной квазираспределенной волоконно-оптической системы измерения температуры рециркуляционного типа с использованием технологии спектрального мультиплексирования. Метод измерений основан на регистрации возникающих под воздействием температуры изменений частоты рециркуляции одиночных оптических импульсов на соседних длинах волн. При этом происходит периодическое восстановление сигнала по форме, амплитуде и длительности. Чувствительными элементами являются отрезки многомодового кварцевого волоконного световода с металлическим покрытием, разделенные спектрально-селективными элементами, в качестве которых предлагается использовать дихроичные зеркала. Проведено исследование влияния флуктуаций частоты рециркуляции на методическую погрешность измерений.

Прорывные достижения в последние несколько десятилетий в области оптоволоконной связи и оптоэлектронного приборостроения предопределили возникновение нового направления измерений на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД). Элементы, используемые в волоконно-оптических датчиках, являются абсолютно пассивными по отношению к электричеству (не излучают и не проводят электрический ток), что часто оказывает решающее влияние на успешное применение их в некоторых областях. В медицине это позволяет изолировать пациентов от электрических приборов, в области высокого напряжения исключить проводящие пути, а при размещении обеспечивается совместимость с любыми материалами. Весогабаритные характеристики датчиков являются критическими при их использовании в таких областях, как аэрокосмическая, и здесь, благодаря своим небольшим весу и размеру, ВОД получают существенное преимущество по сравнению со многими другими изделиями. К тому же такие датчики невосприимчивы к электромагнитным помехам. Традиционные электрические датчики часто приходится размещать в тяжелой экранирующей оболочке, что значительно увеличивает их стоимость, размер и вес. Устойчивость к воздействиям внешней среды является определяющей при использовании ВОД в условиях высокой температуры, а твердотельная структура позволяет им выдерживать предельные уровни вибрационных и ударных нагрузок. К перечисленным выше свойствам можно добавить высокую чувствительность и широкополосность. При объединении каналов матрицы датчиков широкая полоса пропускания самих оптических волокон позволяет передать получающиеся в результате данные и тем самым обеспечивает определенное преимущество.

В настоящее время широкое применение находит использование инновационных оптоволоконных технологий на основе концепции так называемых распределенных и квазираспределенных датчиков, имеющих большие линейные размеры, в которых оптические волокна являются одновременно и чувствительным элементом, и каналом передачи данных. Разработаны волоконно-оптические датчики на основе вынужденного комбинационного рассеяния, вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, с использованием волоконных решеток Брэгга.

Основные способы измерения (амплитудные, поляризационные, фазовые) являются аналоговыми и связаны, как правило, с измерением изменений интенсивности оптического излучения. Проведенные в работах [1,2] оценки показали, что предельно достижимая минимальная относительная погрешность измерений будет не меньше, чем 10^{-4} %. Реальные же значения этой величины еще на 2–3 порядка хуже. Один из путей повышения точности измерений посредством ВОД является переход к регистрации неаналоговых (неоптических) параметров. Широкие функциональные возможности имеют ВОД, в которых выходной сигнал формируется в виде временной последовательности оптических импульсов. Применение в таких ВОД специальных модуляторов с циклическими прерывателями потока излучения, чувствительными к воздействующим на ВОД величинам, позволяет создавать системы, спо-

собные измерять широкий круг физических величин (механических, электрических, магнитных, тепловых и т.д.). Информационными параметрами импульсной последовательности в этом случае могут быть: само число импульсов; частота следования импульсов; временные интервалы между импульсами.

В работах [3,4] представлены структуры и метрологический анализ ВОД, принцип действия которых основан на изменении частоты рециркуляции одиночных оптических импульсов в замкнутом оптоэлектронном контуре под воздействием различных измеряемых физических величин. При этом происходит периодическое восстановление циркулирующих импульсов по форме, амплитуде и длительности. Проведенные исследования показали, что одним из важнейших факторов, ограничивающих точность измерений в таких ВОД, являются флуктуации частоты рециркуляции, характеризующиеся таким параметром, как относительная долговременная нестабильность (ОДН) частоты рециркуляции.

Динамика изменения ОДН частоты рециркуляции при различных длинах волоконных световодов (ВС) представлена на рисунке 1. Экспериментальные значения начинали фиксироваться через 20 мин с момента запуска циркуляции, когда система входила в относительно стабильное состояние, при следующих параметрах: ток постоянного смещения инжекционного лазера (ИЛ) $I_0 = 0,9 I_{\text{п}}$, где $I_{\text{п}}$ – величина порогового тока; значение порога срабатывания компаратора соответствует половине амплитуды импульса на входе устройства. Из анализа данных на рисунке 1 следует, что при увеличении частоты рециркуляции относительная долговременная нестабильность нелинейно увеличивается (с $2 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-6}$ при уменьшении длины ВС на порядок (с 500 до 50 м) и от $6 \cdot 10^{-6}$ до $4 \cdot 10^{-5}$ при уменьшении длины ВС еще более чем на порядок (с 50 до 2,5 м)). Очевидно, это связано с тем, что при увеличении частоты рециркуляции за одно и тоже время измерений происходит большее количество срабатываний элементов системы и их разброс во времени увеличивается, т. е. сильнее проявляется свойство оптоэлектронной рециркуляционной системы (ОЭРС) накапливать флуктуации в процессе рециркуляции.

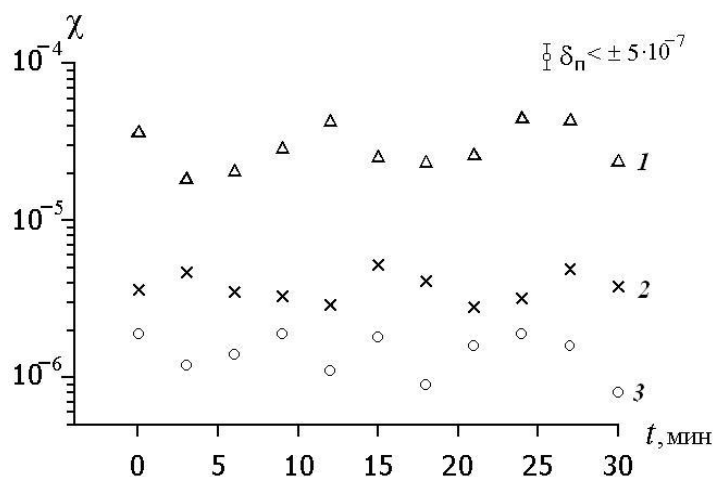


Рисунок 1 – Зависимость относительной долговременной нестабильности частоты рециркуляции χ от времени наблюдения t при различных значениях длины ВС: $I_0 = 0,9 I_{\text{п}}$; 1 – $L = 2,5$ м; 2 – $L = 50$ м; 3 – $L = 500$ м

Таким образом, для ОЭРС на основе многомодового градиентного волоконного световода длиной 500 м, InGaAsP-ИЛ при токе накачки $I = 1,3 I_{\text{п}}$, обеспечивающем мощность излучения более 2 мВт, германиевого лавинного фотодиода ЛФД-2А при коэффициенте лавинного умножения $M \approx 10$ экспериментально получена относительная нестабильность частоты рециркуляции не более $2 \cdot 10^{-6}$ при времени наблюдения 30 мин и времени измерения 1 с. Для порогов срабатывания устройства регенерации в интервале 30–80 % от амплитуды импульсов на его входе стабильность частоты рециркуляции оставалась практически постоянной. С уменьшением длины волоконного световода стабильность частоты рециркуляции нелинейно уменьшалась, что связано с увеличением числа актов преобразования информа-

ционных сигналов «ток – свет – ток» в единицу времени, усилением влияния на процесс рециркуляции флуктуаций параметров ИЛ и ЛФД и, как следствие, различной скоростью накопления ошибок. Полученные результаты позволяют определить режимы работы элементов контура, минимизирующие влияние на частоту рециркуляции основных дестабилизирующих факторов, а также оценить метрологические характеристики устройств, созданных на основе анализируемой ОЭРС.

Используя математическую модель [3,4], на рисунке 2 представлены результаты расчета методической погрешности измерений $\Delta\theta_{\min}$ температуры посредством рециркуляционного ВОД для различных длин волоконного световода с металлическим алюминиевым покрытием (и, соответственно, для различных значений ОДН). Получено, что благодаря температурной зависимости коэффициента линейного теплового расширения и показателя преломления ВС для длин ВС $L > 100$ м величина $\Delta\theta_{\min}$ не превышает $\pm 0,1^\circ\text{C}$ для измеряемых температур от 25°C до 500°C .

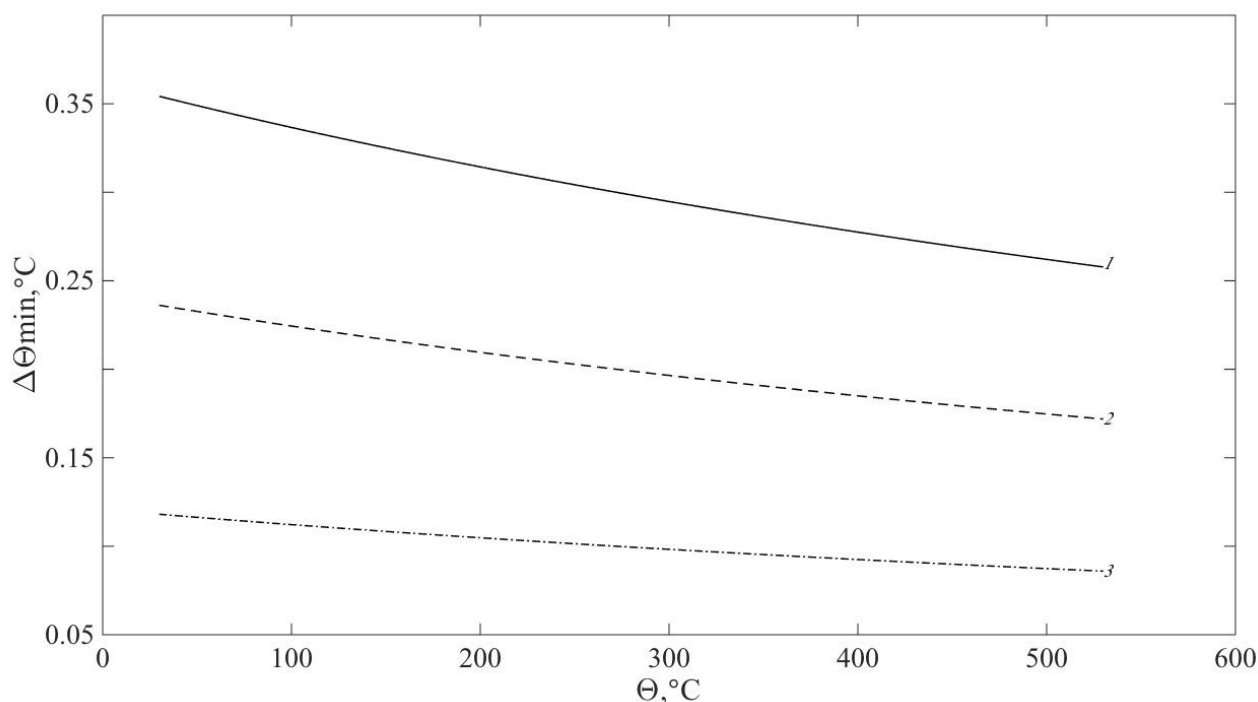


Рисунок 2 – Зависимость погрешности ВОД от измеряемой температуры при различных значениях относительной долговременной нестабильности частоты рециркуляции

$$1 - \chi_{\max} = 6 \cdot 10^{-6}; \quad 2 - \chi_{\max} = 4 \cdot 10^{-6}; \quad 3 - \chi_{\max} = 2 \cdot 10^{-6}$$

1. Демьяненко, П. А. Точность измерений посредством волоконно-оптических датчиков (проблемы и пути их решения) / П. А. Демьяненко // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1995. – Вып.29. – С. 88–93.
2. Демьяненко, П. А. Измерительные преобразователи на основе волоконно-оптических датчиков / П. А. Демьяненко, Ю. Ф. Зиньковский, М. И. Прокофьев // Фотон-экспресс. – 2005. – №6. – С.181 – 187.
3. Поляков, А.В. Чувствительность рециркуляционных волоконно-оптических датчиков температуры / А.В. Поляков // Оптический журнал. – 2004. – Т.71, №9. – С. 84 – 87.
4. Поляков, А.В. Волоконно-оптическая система скважинной термометрии рециркуляционного типа / А.В. Поляков // Известия Вузов. Приборостроение. – 2012. – Т.55, №9. – С.84 – 90.