

4. Витих В. А., Якимаха В. П. Применение структурных моделей сигналов для получения оценок погрешностей при адаптивной дискретизации // Автометрия.— 1972.— № 3.
5. Федоренко М. П., Тормышев Ю. И. Методы линеаризации сложных форм траекторий // Электрон. моделирование.— 1980.— № 2.
6. А. с. 1201861 СССР. Устройство для передачи данных со сжатием/Н. Н. Хрисанов.— Оpubл. 30.12.85. Бюл. № 48.
7. Липский В. Г. Метод аппроксимации плоских кривых дугами парабол // Автометрия.— 1986.— № 1.
8. А. с. 1251130 СССР. Устройство для аппроксимации функций/В. Г. Липский.— Оpubл. 15.08.86. Бюл. № 30.
9. А. с. 970421 СССР. Устройство для сжатия информации/О. А. Башкиров.— Оpubл. 30.10.82. Бюл. № 40.
10. Липский В. Г. Синтез аппроксимационных алгоритмов сжатия данных, использующих приближенный контроль погрешности аппроксимации // Вопр. радиоэлектроники. Сер. ОВР.— 1985.— Вып. 6.
11. Ольховский Ю. Б., Новоселов О. Н., Мановцев А. П. Сжатие данных при телеизмерениях.— М.: Сов. радио, 1971.

*Поступило в редакцию 13 августа 1987 г.*

УДК 629.7.018

А. В. ЛОГИНОВ, М. Я. МЕШ, И. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. ПРОКЛОВ,  
А. Л. ШЛИФЕР, Г. А. ЮДИН  
(Новосибирск — Ташкент)

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР

В процессе многократного прохождения оптического импульса по волоконному световоду (ВС) происходит накопление изменений его параметров, которое используется для измерения характеристик ВС: дисперсии [1] и длины [2]. В то же время большинство известных световодных датчиков физических величин основано на модуляции параметров световодного тракта. Использование этих датчиков в составе активной волоконно-оптической кольцевой структуры (АВОКС) позволяет повысить чувствительность средства измерения. Однако вопросы измерения внешних воздействий с помощью АВОКС остаются малоизученными.

Приведенные в данной работе результаты обосновывают возможности использования АВОКС в качестве базового элемента измерительных устройств.

В отличие от режима хранения информации в АВОКС [3], когда регенерируются амплитуда, форма и частота следования импульсов, в целях измерений один из перечисленных параметров сигнала не должен восстанавливаться. Тогда приложенное к световоду измеряемое воздействие приводит к изменению не восстанавливаемого в регенераторе параметра импульсного сигнала.

Использование в качестве параметра, чувствительного к измеряемому воздействию, амплитуды или формы импульса при аналоговой регенерации сигнала приводит к существенному ограничению точности и диапазона измерений, так как в этом случае реализация широкополосных аналоговых измерительных устройств является весьма сложной задачей. Напротив, выбор для этой цели частоты следования импульсов позволяет избежать указанных недостатков, поскольку в данном случае применимы цифровые методы регенерации и регистрации сигнала.

При запуске одиночного импульса в АВОКС число  $N$  его регенераций за время  $t$  составит

$$N = t/(ln/c + \tau_{эл}), \quad (1)$$

где  $c$  — скорость света в вакууме;  $n$  — показатель уменьшения групповой скорости излучения в световоде;  $\tau_{эл}$  — задержка импульса в электронном тракте АВОКС;  $l$  — длина световода. Изменение числа импульсов, прошедших через регенератор в одном цикле измерения при  $\tau_{эл} = \text{const}$ , составляет

$$dN = - \frac{ct}{(ln + c\tau_{эл})^2} \left[ l_r \frac{\partial n_r}{\partial x} + n_r \frac{\partial l_r}{\partial x} \right] dx, \quad (2)$$

здесь  $n_r$  и  $l_r$  — соответственно показатель преломления и длина чувствительного участка оптического тракта, которые необходимо модулировать при многократном режиме измерений. Заметим, что в большинстве известных и используемых волоконно-оптических датчиков [4] внешнее воздействие преобразуется в изменение параметров оптического сигнала (фазу, разность фаз) при деформациях световода и (или) за счет фотоупругого эффекта, т. е. при изменении  $l$  и  $n$ . Это позволяет

использовать известные конструкции таких датчиков совместно с рассматриваемой методикой.

Отметим, что паразитные внешние воздействия, вызывающие изменения  $l$  и  $n$ , оказывают такое же влияние на погрешность измерений, как и в случае традиционных схем измерительных устройств [4].

В качестве примера на основе АВОКС нами реализован макет устройства для измерения температуры. При  $t = 1$  с, длине светового тракта  $\sim 200$  м и длине чувствительного участка  $\sim 100$  м измерялась температура  $T$  в диапазоне  $0-100^\circ\text{C}$  при средней чувствительности  $dN/dT \approx 10$  имп./ $^\circ\text{C}$ . Абсолютная погрешность была практически постоянной во всем диапазоне измерений и составляла  $\sim 1^\circ\text{C}$ . Указанная величина абсолютной погрешности, видимо, обусловлена дрейфом времени  $\tau_{\text{эл}}$  и недостаточной жесткой связью торца используемого многомодового световода (с диаметром сердцевины 50 мкм) с источником излучения, что приводит к возбуждению в световоде группы мод с различным временем распространения. При устранении указанных причин нестабильности и применении одномодового световода для данной конструкции устройства возможно уменьшение погрешности на порядок. Однако в связи с нелинейностью тарировочной характеристики значение абсолютной погрешности должно несколько возрастать при увеличении измеряемой температуры.

В соответствии с выражением (2) при одинаковом по величине измеряемом воздействии чувствительность устройства возрастает с увеличением длины оптического пути чувствительного участка и с уменьшением общей длины оптического пути ( $ln$ ) световодного тракта и времени задержки  $\tau_{\text{эл}}$ , флуктуации которых под воздействием неизмеряемых параметров определяют погрешность измерений. Однако при использовании коротких световодных трактов более жесткие требования предъявляются к стабильности величины  $\tau_{\text{эл}}$ , так как ее флуктуации становятся сравнимы с измеряемым временем задержки импульса в световоде и начинают вносить наибольший вклад в погрешность.

Повышение чувствительности измерительных устройств на основе АВОКС возможно и без уменьшения общей длины световодного тракта, что важно в ряде практических приложений. Оно реализуется путем измерения времени  $t$ , необходимого для фиксированного числа циркуляций ( $N = \text{const}$ ) импульса по АВОКС. За счет этого уменьшается погрешность измерений, которая теперь определяется погрешностью измерения (с помощью эталонного генератора с частотой  $f_T$ ) времени  $t$ , а не временем обращения сигнального импульса по АВОКС. В этом случае за  $N$  циркуляций импульса по АВОКС отсчитывается  $K = t f_T$  тактов генератора. Величина  $K$  и ее изменение с внешним воздействием  $x$  описываются следующими выражениями:

$$K = N(ln/c + \tau_{\text{эл}})f_T; \quad (3)$$

$$dK = \frac{Nf_T}{c} \left( l_r \frac{\partial n_r}{\partial x} + n_r \frac{\partial l_r}{\partial x} \right) dx. \quad (4)$$

Для рассмотренного выше устройства измерения температуры при  $N = 10^6$  (что соответствует времени измерения  $\sim 1$  с) и  $f_T = 10^8$  Гц чувствительность  $dK/dT \sim 10^3$  имп./ $^\circ\text{C}$ , т. е. на два порядка выше чувствительности  $dN/dT$ , определенной в соответствии с (2). Заметим, что для такой конструкции предельное значение абсолютной погрешности составляет  $10^{-3}^\circ\text{C}$  и является постоянным во всем диапазоне измерений.

Из выражений (3) и (4) следует, что число тактов  $K$  линейно зависит от длины оптического пути, модулируемой измеряемым воздействием. Это позволяет линеаризовать функцию преобразования измерительного устройства в случае, когда  $\frac{\partial n_r}{\partial x}$  и  $\frac{\partial l_r}{\partial x}$  являются постоянными величинами. Отметим, что для традиционных датчиков [4] на основе фазовой и поляризационной модуляции излучения такая линеаризация требует дополнительной (как правило, с помощью процессорных средств) обработки измерительного сигнала. Кроме того, выбором соответствующих значений  $N$  и  $f_T$  можно добиться выполнения условия

$$\frac{Nf_T}{c} \left( l_r \frac{\partial n_r}{\partial x} + n_r \frac{\partial l_r}{\partial x} \right) = 10^z \quad (5)$$

(где  $z$  — целое число), т. е. получить  $dK = 10^z dx$ . В этом случае при регистрации изменений  $K$  относительно первоначального заданного (в отсутствие измеряемого воздействия) значения легко получить на выходе прибора именованные числа.

Таким образом, проведенные эксперименты указывают на возможность создания полностью цифровых волоконно-оптических измерительных приборов. Их важной особенностью является обработка измерительного сигнала вплоть до получения именованных значений измеряемой величины без использования дополнительных функциональных (аналого-цифрового, унифицирующего и т. д.) преобразователей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cohen L. G. Shuttle pulse measurements of pulse spreading in an optical fiber // Appl. Opt.— 1975.— 14, N 6.— P. 1351.

2. Григорьянц В. В., Ильин Ю. Б., Константинов В. П. Формирование и обработка сигналов в устройствах на основе волоконных световодов // Итоги науки и техники. Сер. Связь.— М.: ВИНТИ, 1988.— Т. 1.
3. Гуляев Ю. В., Деметтиенко В. В., Львова М. В. и др. Волоконно-оптический элемент хранения информации // Письма в ЖТФ.— 1986.— 12, вып. 6.
4. Бусурин В. И., Семенов А. С., Удалов Н. П. Оптические и волоконно-оптические датчики (обзор) // Квантовая электрон.— 1985.— 12, № 5.

Поступило в редакцию 15 декабря 1988 г.

УДК 681.327.68 : 778.38

Б. В. ВАНЮШЕВ  
(Новосибирск)

### ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЗУ

**Введение.** Вопросам оценки достоверности считывания информации в ГЗУ посвящен ряд работ [1—3], где расчет достоверности проводится без учета специфики ГЗУ — страничной организации данных, что в конечном итоге может приводить к завышению расчетной надежности считывания информации.

В ГЗУ при считывании голограмм восстанавливаются изображения страницы данных в виде массивов световых точек (оптических «1» и «0»), которые, обладая разной мощностью (разбросом), образуют массивы случайных величин  $X_1^1, X_2^1, \dots, X_n^1$  и  $X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0$  для оптических «1» и «0» соответственно (в общем случае количество  $n$  оптических «1» и «0» может быть не равно друг другу). В этом случае вероятность ошибочного считывания оптической «1» или «0» представляет собой вероятность того, что среди  $n$  оптических «1» (или «0») страницы данных минимальная мощность «1» (максимальная мощность «0») окажется меньше (больше) некоторого порогового значения  $\Theta$ . Нахождение подобной вероятности является классической задачей теории экстремальных порядковых статистик [4, 5]. Отметим, что с таких позиций расчет достоверности считывания информации в ГЗУ в литературе до сих пор не рассматривался.

Цель данного сообщения — теоретическое и экспериментальное исследование распределений максимума мощности оптического «0» и минимума мощности оптической «1» восстановленных изображений голограмм в предположении независимости и одинаковой распределенности (НОР) исходного массива оптических «1» и «0». Распределения этих экстремумов необходимы для расчета достоверности считывания информации.

Вследствие большого объема выборки  $n$  в ГЗУ вопрос рассмотрен с позиций асимптотической теории экстремальных порядковых статистик [4, 5].

Если исходный массив оптических «0» и «1» в восстановленном изображении голограммы удовлетворяет условию НОР случайных величин, то плотность вероятности  $p(x)$  может быть записана в виде [4]

$$p(x) = \begin{cases} \frac{2}{xV^2} \exp\left[-\frac{2}{xV^2}(\bar{x} + x)\right] I_0\left(\frac{4x^{1/2}}{\bar{x}^{1/2}V^2}\right), & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  и  $\bar{x}$  — мощность и математическое ожидание мощностей оптических «0» ( $x^0, \bar{x}^0$ ) или «1» ( $x^1, \bar{x}^1$ );  $I_0$  — модифицированная функция Бесселя нулевого порядка;  $V = \sigma/\bar{x}$  — коэффициент вариации случайной величины  $x$ ;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение случайной величины  $x$ .

Для распределения максимума важно поведение случайной величины при ее больших значениях (теоретически при  $x \rightarrow \infty$ ). Учитывая в (1) асимптотическое поведение функции  $I_0$  при  $x \rightarrow \infty$  и воспользовавшись предельными теоремами [4], можно показать, что предельной функцией распределения величины  $(Z_n - a_n)/b_n$  для оптических «0» (или «1») является функция

$$H_{3,0}(z) = \exp(e^{-z}), \quad (2)$$

где  $Z_n$  — максимальное значение случайной величины  $z = (x/\bar{x})^{1/2}$ ;  $a_n$  и  $b_n$  — центрирующие и нормирующие константы соответственно. Константы  $a_n$  и  $b_n$  задаются условиями упомянутых предельных теорем и в нашем случае определяются из со-