

пластины, у которой два смежных края жестко закреплены, а два других свободны. Пластина состоит из двух одинаковых композитных несущих слоев и ортотропного заполнителя. Для решения динамической задачи был применен обобщенный метод Галеркина.

Выведена формула для определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями. Верификация этой формулы для пластин с различными жесткостными параметрами выполнена с помощью метода конечных элементов. Сравнение между собой результатов вычислений позволило сделать вывод о

пригодности выведенной в статье формулы для надежного и быстрого определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями.

#### Библиографические ссылки

1. Zenkert D. An Introduction to sandwich construction. London : Chameleon Press, 1995.
2. Vinson J. R. The Behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials. Lancaster : Technomic, 1999.

A. V. Lopatin, P. O. Deev

### DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL FREQUENCY FOR RECTANGULAR SANDWICH PLATE WITH TWO FREE EDGES

*In the article the problem of fundamental frequency determination for sandwich plate with two clamped edges and two free edges is solved. Variation equations of plate dynamics were solved by generalized Galerkin method. The formula for general frequency determination has been obtained.*

*Keywords: sandwich plate, vibration frequency, generalized Galerkin method.*

© Лопатин А. В., Деев П. О., 2011

УДК 681.332.53/519.676

В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, А. В. Малинкин

### ИНВАРИАНТНАЯ МНОГОВОЛНОВАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ

*Предложена структура инвариантной многоволновой волоконно-оптической системы передачи, позволяющая существенно повысить помехоустойчивость рассматриваемой системы.*

*Ключевые слова: инвариант, помехоустойчивость, вероятность ошибки, отношение сигнал/шум.*

В работах [1–5] проведен анализ технических характеристик инвариантных методов передачи. Эти методы используют линейные и нелинейные операции обработки. К достоинствам данных методов можно отнести существенное (более чем на 3 порядка) уменьшение вероятности ошибочного приема. К недостаткам авторы относят сложность определения параметров канала связи, а также ухудшение качественных характеристик при увеличении алфавита инвариантной системы передачи информации (ИСПИ).

**Постановка задачи.** Имеется многоволновая волоконно-оптическая система передачи. Длины волн в окнах прозрачности обозначим через  $\lambda_1 - \lambda_N$ . Окна прозрачности выбраны для сигналов передачи таким образом, что сохраняется линейный режим обработки. На вход волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) поступает цифровой поток со скоростью  $V_0$ . Требуется спроектировать многоволновую ИСПИ.

**Решение поставленной задачи.** Повышение мощности передаваемого сигнала в ВОСП приводит к появлению нелинейных эффектов. Поэтому повышение мощности

сигнала передачи не гарантирует уменьшения вероятности ошибочного приема.

Уменьшения вероятности ошибки в ВОСП можно достичь с помощью линейных инвариантных методов обработки с ограниченной мощностью передаваемого сигнала.

Данную задачу решим следующим образом. Цифровой поток со скоростью передачи  $V_0$  разобьем на  $N$  отдельных подканалов. В каждом подканале скорость информационного сигнала будет  $V_0/(N-1)$ ;  $N$ -й подканал отведен для передачи обучающего сигнала, как это принято в инвариантных системах. Каждый из подканалов модулирует соответствующую длину волны.

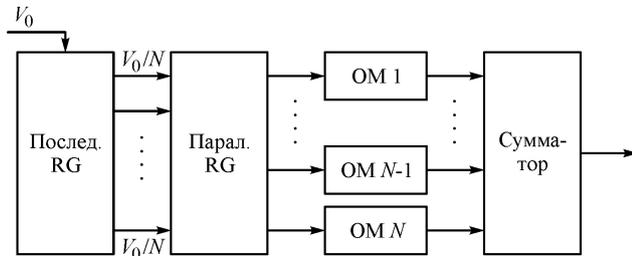
На приемной стороне каждая длина волны принимается оптическим фильтром, преобразуется в электрический вид, а затем подвергается обработке с помощью алгоритмов [1; 2]. Этот метод в научной литературе носит название «параллельной передачи».

В классических системах параллельной передачи по кабельным линиям и радиоканалам можно выделить следующие достоинства и недостатки.

К достоинствам данного метода можно отнести уменьшение линейной скорости в  $N$  раз.

К недостаткам параллельной передачи относят необходимость введения  $N$  полосовых фильтров в тракт приема, а также наличие амплитудно-частотных и фазочастотных искажений, вносимых этими фильтрами в сигнал приема.

Указанных выше недостатков удастся избежать в волоконно-оптических системах передачи (рис. 1).



Послед. RG – последовательный регистр

Парал. RG – параллельный регистр

ОМ – оптический модулятор

Рис. 1. Структура передающей части инвариантной волоконно-оптической системы передачи информации

Принцип действия такого устройства следующий: цифровой поток  $V_0$  поступает на последовательный регистр с частотой следования символов. Обычно длина регистра выбирается кратной двум ( $N=2, 4, 8, 16$  и т. д.). При заполнении последовательного регистра сигналом цикловой синхронизации данные переписываются в параллельный регистр. Будем называть эту информацию кадром передачи. Данный кадр будет храниться до накопления в последовательном регистре нового кадра. При этом скорость передачи информационного сигнала уменьшается в  $(N-1)$  раз. При этом оптические модуляторы  $ОМ_1 - ОМ_{(N-1)}$  используются для передачи информационного сигнала, а оптический модулятор  $ОМ_N$  будет использоваться для передачи обучающего сигнала.

Эпюры сигнала передачи представлены на рис. 2.

Структура приемной части представлена на рис. 3.

Принимаемый сигнал из оптического волокна параллельно поступает на  $N$  оптических демодуляторов. В каждом оптическом демодуляторе производится восстановление двоичного сигнала данного подканала. Если подать сигнал с выходов оптических демодуляторов через мультиплексор  $MS_1$ , то получается обычная многоволновая волоконно-оптическая система передачи.

В предлагаемой структуре сигнал в электрической форме с выходов оптических полосовых фильтров  $ОПФ_1 - ОПФ_{N-1}$  дополнительно подается на вычислители инвариантов. Вычислители инвариантов используют пилот-сигнал (сигнал обучения), который передается в  $N$ -м окне прозрачности.

В каждом канале вычислителя инвариантов производится расчет оценки инварианта по следующей формуле [3; 4]

$$\hat{\lambda}_{INV} = \frac{\sum_{n=1}^L (kS_{i\text{ инф}}(nT) + \xi_i(nT))}{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^L (kS_{об}(nT) + \eta(m, nT))}, \quad (1)$$

где  $S_{i\text{ инф}}(nT)$  – отсчеты информационного сигнала в  $i$ -м канале;  $\xi_i(nT)$  – отсчеты аддитивного шума оптического волокна в  $i$ -м канале;  $S_{об}$  – отсчеты обучающего сигнала, передаваемого по  $N$ -му каналу;  $h(nT)$  – отсчеты аддитивной помехи в  $N$ -м окне прозрачности,  $M$  – количество усреднений обучающего сигнала;  $L$  – количество отсчетов информационного и обучающего сигнала на интервале анализа;  $k$  – коэффициент передачи канала связи (оптического волокна).

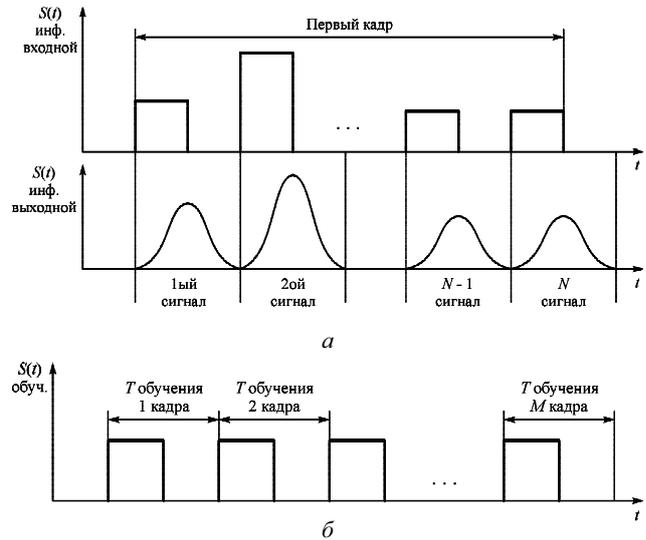


Рис. 2. Эпюры сигнала передачи: а – исходный двоичный сигнал и двоичный сигнал на выходе ВОЛС (первый кадр); б – обучающий сигнал после накопления

Коэффициент передачи канала связи  $k$  возможно определить с помощью обучающей последовательности при помощи выражения [1–5]

$$\hat{k} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^L (kS_{обуч}(nT) + \eta(m, nT))}{\sum_{n=1}^L S_{обуч}(nT)}, \quad (2)$$

где  $\hat{k}$  – оценка коэффициента передачи канала связи (оптического волокна).

Выражение (2) производит усреднение аддитивной помехи с последующим вычислением оценки коэффициента передачи канала связи.

При таком подходе в работах [1–5] доказано, что вероятность ошибки каждого подканала при выбранных инвариантах  $INV_1 = 1, INV_2 = 9$  составляет  $10^{22}$  (отношение сигнал/помеха равно 6).

Усредненная вероятность ошибочного приема при одинаковых вероятностях ошибочного приема в подканалах будет определяться вероятностью ошибки в одном подканале.

Вероятность ошибочного приема ИСПИ ВОСП существенно меньше вероятности ошибочного приема в существующих системах SDH.

В этих системах даже при использовании циклических кодов с исправлением ошибок вероятность ошибочного приема составляет  $10^{-14}$ .

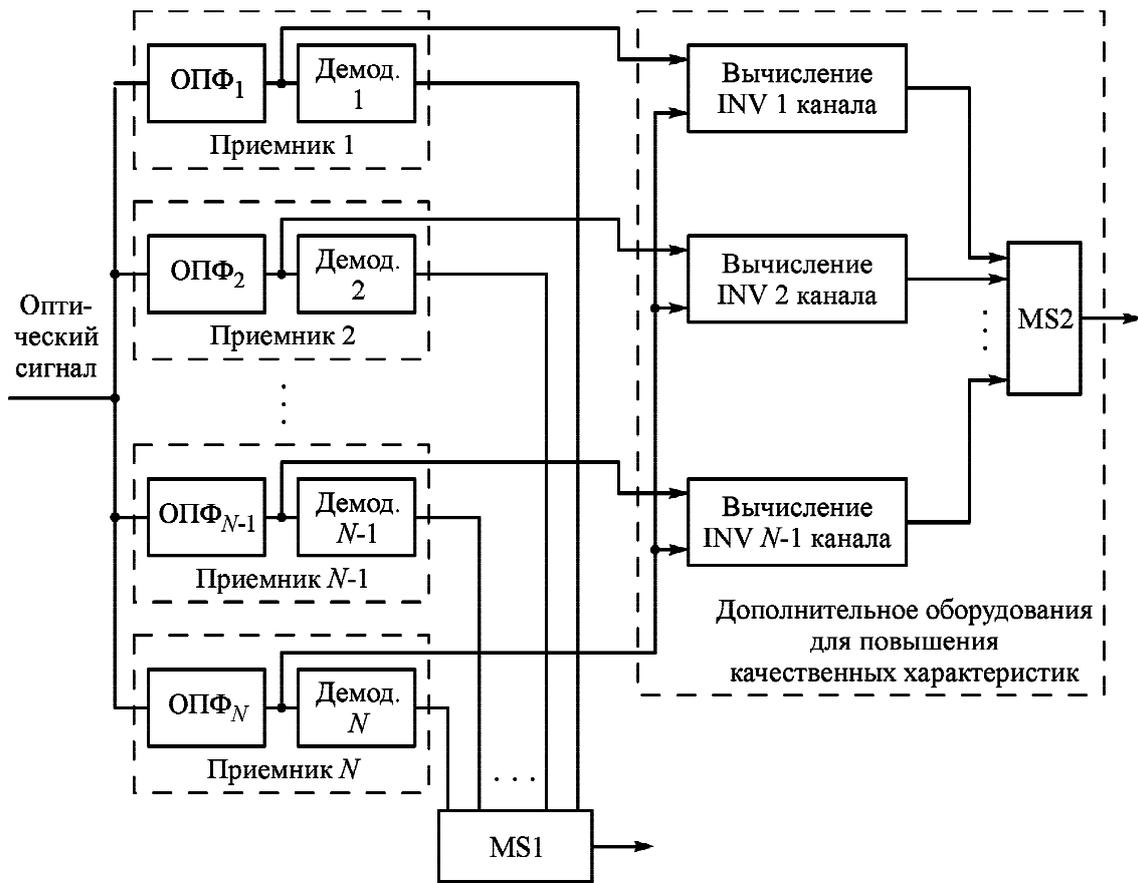
Итак, предложен инвариантный метод многоволновой передачи в ВОСП, позволяющий существенно умень-

шить вероятность ошибочного приема по сравнению с классической ВОСП.

**Библиографические ссылки**

1. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : монография / Е. И. Алгазин, В. Б. Малинкин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантопуло ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Красноярск : Поликом, 2006.  
 2. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных свя-

зей и собственных шумов генераторного оборудования // Ом. науч. вестн. № 3(70). 2008. С. 122–126.  
 3. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Инвариантная некогерентная система передачи и ее характеристики // Ом. науч. вестн. № 4(73). 2008. С. 154–158.  
 4. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме // Вестник СибГАУ. Вып. 2(19). 2008. С. 38–42.  
 5. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных связей // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 29–32.



ОПФ – оптический полосовой фильтр  
 MS – мультиплексор

Рис. 3. Структура приемной части инвариантной волоконно-оптической системы передачи информации

V. B. Malinkin, E. I. Algazin, A. V. Malinkin

**INVARIANT MULTICOMPONENT FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEM**

The authors offer structure of invariant multi-wave fiber-optic transmission systems, wich allows to significantly improve noise immunity of the system.

Keywords: invariant, noise immunity, probability of error, signal to noise ratio.

© Малинкин В. Б., Алгазин Е. И., Малинкин А. В., 2011