

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРЯДКА РАЗЛОЖЕНИЯ
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И АЛГОРИТМОВ ВЫБОРА ПОРОГА ОГРАНИЧЕНИЯ
ВЕЙВЛЕТ-КОЭФИЦИЕНТОВ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМОВ
В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ
С УСТРОЙСТВАМИ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВ**

Во всем мире ведется интенсивная разработка высокоскоростных длинноволновых (1,3 – 1,55 мкм) волоконно-оптических систем связи (ВОСС), увеличивается расстояние между ретрансляторами ВОСС. Повышение скорости передачи увеличивает информационную емкость систем, а при увеличении расстояния между передающими и приемными модулями возрастает надежность за счет уменьшения количества компонентов. Оба указанных фактора приводят к уменьшению стоимости систем.

С увеличением полосы пропускания приемного модуля повышается скорость передачи, однако порог чувствительности фотоприемников при этом повышается и соответственно уменьшается допустимое расстояние между ретрансляторами. Для снижения уровня шумов и понижения порога чувствительности при высокой скорости передачи были проведены исследования, направленные на усовершенствование фотоприемников с внутренним усилением: *p-i-n* фотодиодов и лавинных фотодиодов [1].

Снижения уровня шумов можно достичь также с помощью фильтрации сигналов. В классических методах фильтрации [2,3] для удаления шумов используется хорошо известный прием – удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала с использованием Фурье-преобразований.

В последние годы стало очевидно, что традиционный аппарат представления произвольных функций и сигналов в виде рядов Фурье оказывается малоэффективным для функций с локальными особенностями, в частности для импульсных и цифровых сигналов, получивших широкое распространение. Это связано с тем, что базисная функция рядов Фурье – синусоида определена в пространстве от $-\infty$ до $+\infty$ и по своей природе является гладкой и строго периодической функцией. Такая функция на практике (в условиях ограничения числа членов ряда или спектра разложения) принципиально не способна описывать произвольные сигналы и функции.

Основой нового решения стала разработка принципиально нового базиса и класса вейвлет-функций, которые используются для декомпозиции и реконструкции функций и сигналов – в том числе нестационарных. Соответственно был создан и новый аппарат представления функций и сигналов и необходимые инструментальные и программные средства для его реализации [4,5].

Поэтому актуальной является задача по исследованию возможностей снижения уровня шумов в ВОСС устройствами вейвлет-фильтрации шумов.

При использовании вейвлетов для борьбы с шумами используют ограничение уровня детализирующих коэффициентов [6].

Известно, что кратковременные особенности сигнала создают детализирующие коэффициенты с высоким содержанием шумовых компонент, имеющих большие случайные выбросы значений сигнала. Задав некоторый порог для их уровня, и срезав по уровню детализирующие коэффициенты, можно уменьшить уровень шумов. При этом уровень ограничения можно устанавливать для каждого коэффициента отдельно, что позволяет строить адаптивные к изменениям сигнала системы удаления шумов на основе вейвлетов.

Рассмотрим источники шума в ВОСС. Шумы вызываются различными причинами и могут быть разделены на две группы. К первой относятся шумы, уровень которых не зависит от уровня принимаемого светового сигнала. Ко второй группе относятся дробовые шумы, величина которых зависит от уровня принимаемого светового сигнала.

К шумам, оказывающим существенное влияние на параметры ВОСС, следует отнести: шумы лазера, шумы за счет темнового тока в фотодиоде, тепловой шум фотодиода и предусилителя, дробовой шум фотодиода.

Схема модели устройства быстрого дискретного прямого и обратного вейвлет преобразования для исследования фильтрации зашумленного цифрового сигнала проходящего через ВОСС представлена на рис.1. Эта схема является классическим алгоритмом Малла.

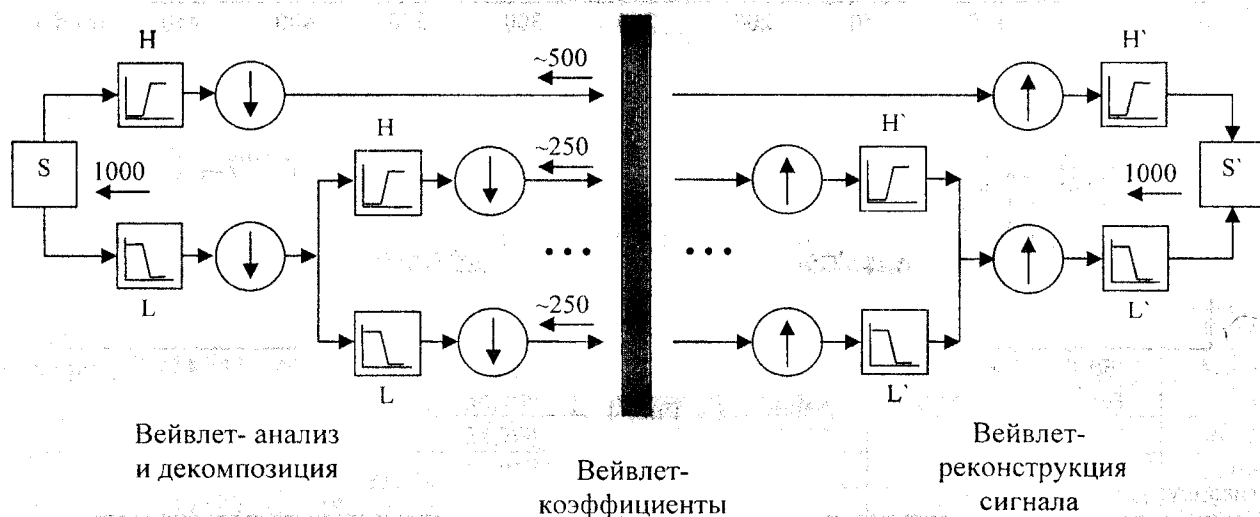


Рис.1

На рис. 1 обозначено: S – исходный сигнал, H – фильтр декомпозиции высоких частот, L – фильтр декомпозиции низких частот, $\downarrow$ – операция децимации (уменьшение числа частотных составляющих вдвое), $\uparrow$ – операция обратная децимации (увеличение вдвое числа частотных составляющих путем добавления нулевых компонентов вперемежку с имеющимися компонентами), H' – фильтр реконструкции высоких частот, L' – фильтр реконструкции низких частот, S' – восстановленный сигнал.

По приведенному алгоритму разработана программа моделирования в среде Matlab. Исследования были выполнены при следующих условиях. На исходный цифровой сигнал (рис. 2) накладывался гауссовский белый шум. Исследование вейвлет-фильтрации выполнено при соотношении сигнал/шум на входе 24 дБ. Отношение сигнал/шум для цифровых ВОСС находится в диапазоне от 20 до 60 дБ [7]. Зашумленный сигнал изображен на рис.3. Далее проводилась вейвлет-фильтрация на основе базиса Хаара, при этом изменялся тип порога, порядок разложения и алгоритм выбора порога. Пример очищенного сигнала приведен на рис. 4.

Результаты исследования влияния порядка разложения вейвлет-преобразования и алгоритмов выбора порога ограничения вейлет-коэффициентов на снижение уровня шумов в волоконно-оптических системах связи с устройствами вейвлет-фильтрации шумов представлены на рис.5 – 9 и в таблице.

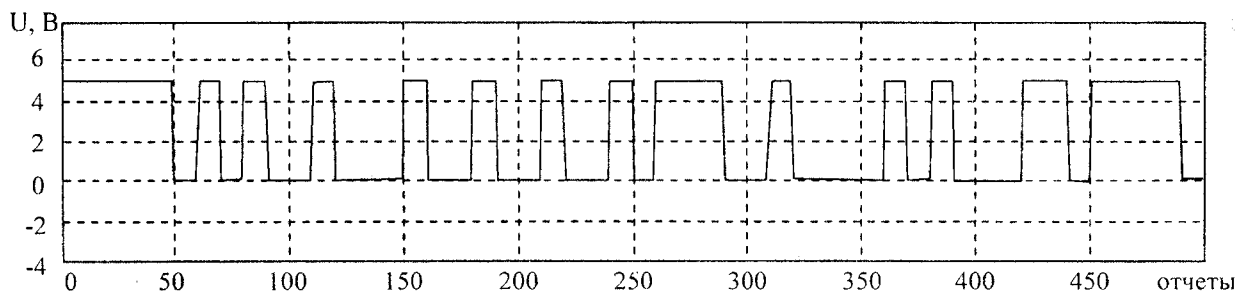


Рис. 2

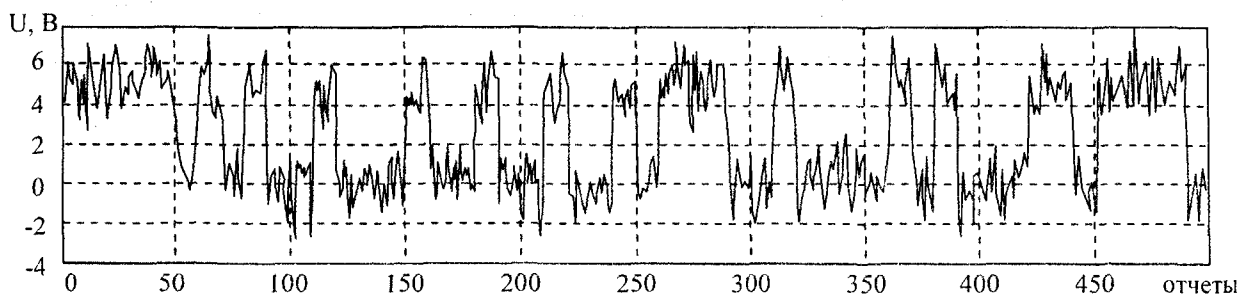


Рис. 3

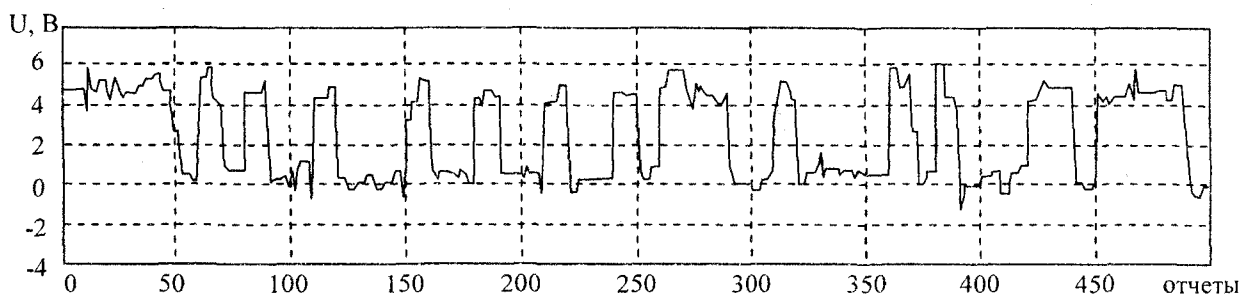


Рис. 4

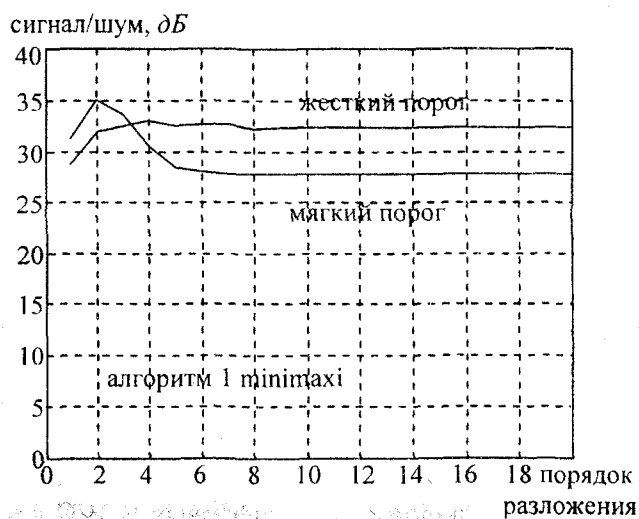


Рис. 5

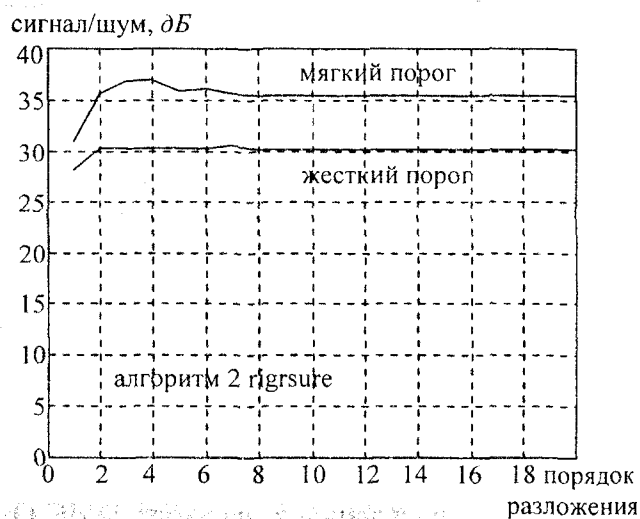


Рис. 6

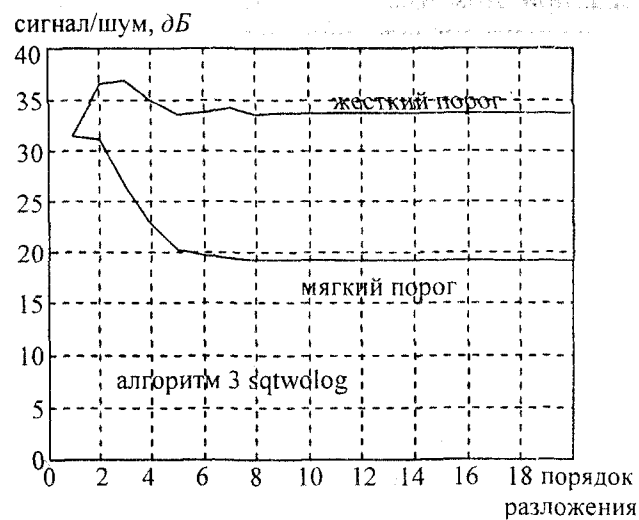


Рис. 7

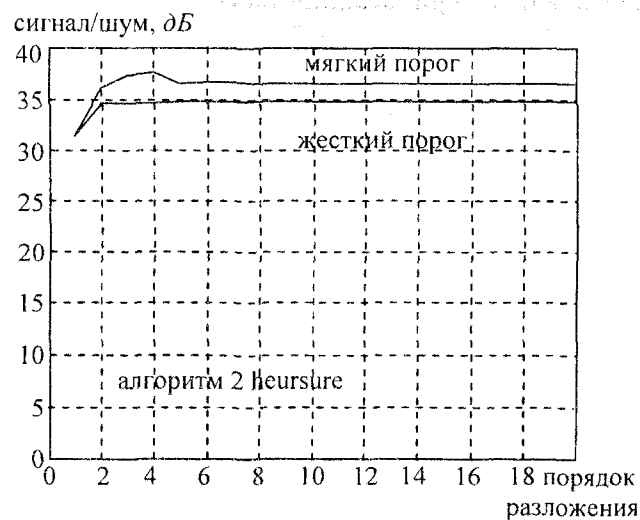


Рис. 8

На рис. 5 представлены графики зависимостей соотношения сигнал/шум от порядка разложения для мягкого и жесткого порога ограничения детализирующих коэффициентов для случая вычисления уровня ограничения по минимаксному алгоритму (minimaxi), на рис. 6 – тоже для алгоритма Штейна несмещенной оценки риска (rigrsure), на рис. 7 – для алгоритма инверсного порога (sqtwolog), на рис. 8 – для эвристического алгоритма Штейна (heursure).

На рис. 9 представлено семейство графиков зависимостей отношения сигнал/шум от порядка разложения при мягком пороге для алгоритмов 1 – 4, а на рис. 10 тоже для жесткого порога.

Сигнал/шум после вейвлет-фильтрации, дБ									
Алгоритм выбора порога		sqtwolog		heursure		minimaxi		rigrsure	
Тип - порога		жесткий	мягкий	жесткий	мягкий	жесткий	мягкий	жесткий	мягкий
П о р я д о к	1	31,403	31,403	31,403	31,403	28,711	31,258	28,102	31,088
	2	36,489	31,021	34,629	36,226	31,937	35,043	30,311	35,720
	3	36,742	26,399	34,699	37,420	32,624	33,465	30,356	36,851
	4	34,792	22,704	34,709	37,640	33,023	30,748	30,363	37,060
	5	33,667	20,230	34,764	36,529	32,617	28,444	30,399	36,008
	6	33,767	19,561	34,774	36,617	32,710	28,031	30,405	36,091
	7	34,049	19,230	34,774	36,688	32,710	27,936	30,604	35,786
	8	33,531	19,127	34,774	36,577	32,255	27,755	30,234	35,465
	9	33,572	19,129	34,774	36,577	32,291	27,768	30,263	35,516
	10	33,572	19,126	34,774	36,577	32,291	27,764	30,263	35,516

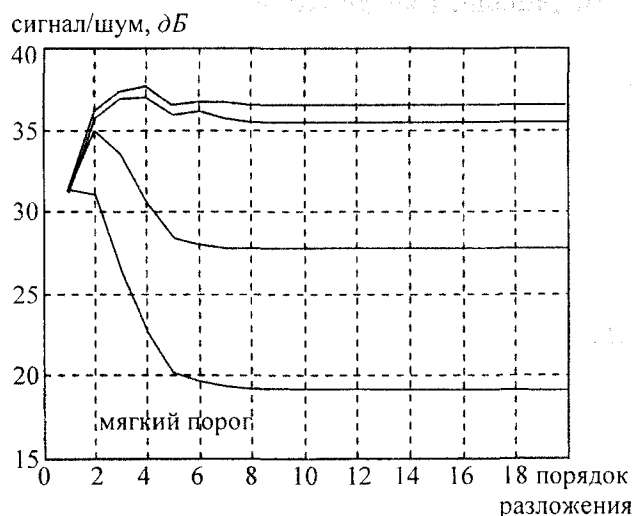


Рис. 9

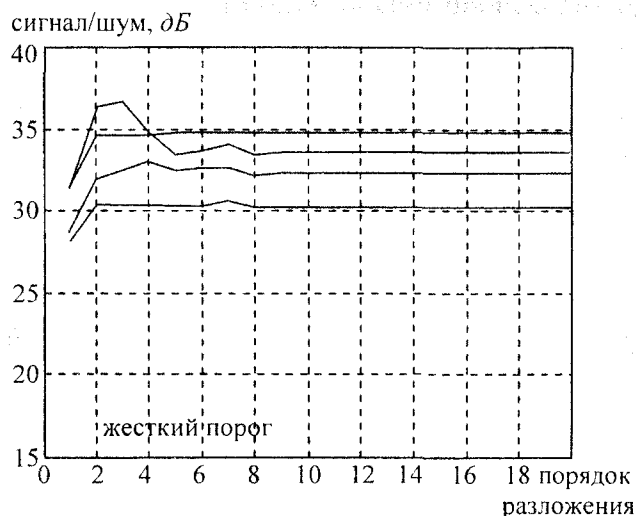


Рис. 10

Из анализа полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы по эффективности фильтрации сигналов в ВОСС с помощью вейвлет-преобразований:

1. Для цифровых сигналов в качестве базиса вейвлет-преобразования обеспечивающего эффективное подавление шумов, можно рекомендовать базис Хаара.

2. Выбор порядка разложения существенно влияет на эффективность фильтрации. Для значения порядка от 2 до 6 фильтрация наиболее эффективна, при порядке более 6 фильтрация не приводит к улучшению соотношения сигнал/шум.

3. Для фиксированного инверсного алгоритма вычисления порога можно рекомендовать применение жесткого порога ограничения детализирующих коэффициентов.

4. Для адаптивных алгоритмов Штейна и фиксированного минимаксного вычисления порога можно рекомендовать использование мягкого порога ограничения детализирующих коэффициентов. Причем при мягком пороге наилучший показатель по соотношению сигнал/шум у эвристического варианта алгоритма Штейна, который является лучшим из всех

Список литературы: 1. *Тсанга У.* Техника оптической связи. Фотоприемники. Пер. с англ. Под ред. М.А.Трищенко М.: Мир, 1988. 528 с. 2. *Henry Ott* Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, Wiley, 2d Ed., 1988. 3. *Richard J. Higgins*, Digital Signal Processing in VLSI, Prentice-Hall, 1990. 4. *Воробьев В.И., Грибунин В.Г.* Теория и практика вейвлет-преобразований. С. Пб.: ВУС.1999. 5. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам: Пер. с англ. Мищенко Е. В.Под ред. Петухова А.П. М.:РХД, 2001. 6 *Дьяконов В.П.* Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 448 с. 7. *Гауэр. Д.* Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. 504с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 20.12.2005