

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Рассматриваются перспективы использования цифровой обработки сигналов в системах спутниковой связи. Показано, что цифровая обработка позволяет повысить энергетический потенциал радиолиний и увеличить общую пропускную способность спутниковых систем связи за счет внедрения новых типов сигнально-кодовых конструкций, асинхронного метода коммутации пакетов и регенерации сигналов на борту космического аппарата. Кроме того, применение цифровой обработки перспективно для организации связи в сложной радиоэлектронной обстановке. Предложен новый вид сигналов, позволяющий повысить помехозащищенность радиоканала.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, спутниковые системы связи, методы коммутации, помехозащищенность.

Исторически развитие спутниковых систем связи началось в середине прошлого века. В настоящее время существует большое количество спутниковых систем связи (ССС). Интенсивное развитие спутниковой связи обусловлено глобальной зоной покрытия и возможностью обеспечения связью труднодоступных районов Земли. Несмотря на все преимущества, спутниковая связь имеет существенные недостатки: высокую стоимость и узкий ассортимент предоставляемых услуг, высокую стоимость абонентских терминалов, низкую пропускную способность каналов связи. Использование цифровой обработки сигналов (ЦОС), крупногабаритных многолучевых антенн позволяет повысить эффективность работы СССР и делает возможным уменьшение стоимости оказываемых услуг. Анализ существующих систем связи позволяет сделать вывод о перспективности разработки новых типов транспондеров для космического аппарата (КА), использующих бортовую цифровую платформу для регенерации и коммутации большого количества сигналов от абонентских терминалов.

Применение ЦОС на борту КА помимо ряда других преимуществ позволяет добиться снижения стоимости наземного сегмента за счет возможности обеспечения прямой связи абонент–абонент, что приведет к сокращению количества наземных станций ретрансляции. Особый интерес представляет возможность использования на борту КА технологии АТМ (Asynchronous Transfer Mode) для коммутации сигналов.

Принципы работы АТМ-коммутации заключаются в следующем. Передача речевого сигнала от одного из собеседников ведется примерно в течение 40 % общего времени разговора. АТМ-коммутация позволяет использовать это время для передачи речевых сигналов других абонентов или других типов сигналов (данные, видео и пр.) [1]. Все сигналы, которые участвуют в сети АТМ, проходят дополнительную цифровую обработку в пограничных устройствах АТМ-сети, которая основана на разбиении на пакеты. Пакет состоит из заголовка и полезных данных. Информации, содержащейся в заголовке, достаточно для того, чтобы доставить пакет по назначению. Далее все пакеты поступают в матрицы временного ожидания.

Каждый канал коммутатора АТМ периодически опрашивает матрицы ожидания. Если в них находятся пакеты, то они тут же отправляются по назначению, если нет, то формируются пустые пакеты. На входе приемного устройства все пакеты собираются в сообщении по информации, которая содержится в их заголовке.

Рассмотрим структурную схему бортового маршрутизатора (рис. 1).

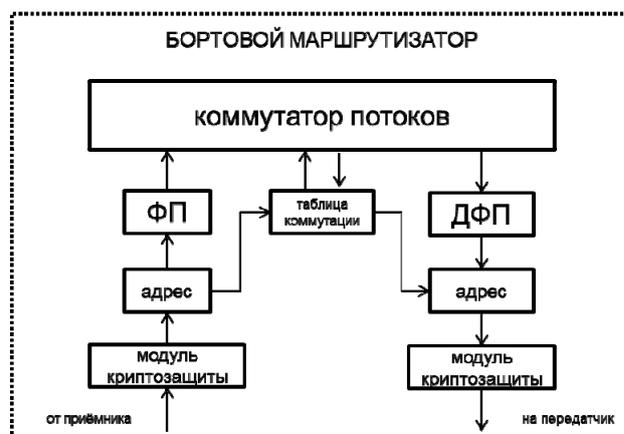


Рис. 1. Структурная схема бортового маршрутизатора

Коммутатор потоков обеспечивает высокоскоростную установку маршрутов передачи для всех потоков. Имеет защиту от вторжений, поскольку не использует протокол маршрутизации (метод таблично-несвязанной маршрутизации). Запись в маршрутную таблицу осуществляется после прохождения этапа криптозащиты канала связи.

Формирователь пакетов (ФП)/Деформирователь пакетов (ДФП) обеспечивает упаковку и распаковку всех потоков в пакеты и выстраивание трафика с учетом качества обслуживания для каждого потока.

Адресный модуль обеспечивает задание/установление адреса отправителя. Модуль содержит дополнительный механизм аутентификации отправителя. При переходе на новый канал связи осуществляется

перерегистрация адреса отправителя, что обеспечивает мобильность соединения.

Модуль криптозащиты использует типовые методы для защиты канала связи. В оборудовании канала связи (приемнике и передатчике) используются типовые методы модуляции, полосы частот и мощности излучения.

На сегодняшний день технология ATM остается достаточно дорогой, но стоимость спутниковых систем связи гораздо выше, что позволяет найти ей применение в этой области. В настоящее время существует яркий пример применения технологии ATM в спутниковой связи – это КА Kizuna, который предназначен для обеспечения скоростным интернетом труднодоступных районов Японии. Данный КА обеспечивает скорость 155 МБит/с на линиях вверх и вниз при работе с наземным терминалом с антенной Ø 1,2 м или 1,5 МБит/с на линии вверх и 155 МБит/с на линии вниз при работе с наземным терминалом с антенной Ø 0,45 м. Преимуществом использования ATM-технологии является возможность ее сопряжения с основными наиболее распространенными протоколами взаимодействия (IP, ISDN, HDTV). Важным этапом в создании спутниковых систем связи нового поколения является разработка многолучевых антенн в Кадиапазоне.

Одна из основных проблем разработки и функционирования телекоммуникационных систем – защита каналов связи от помех естественного и искусственного происхождения.

С каждым годом радиоэлектронная обстановка в промышленно развитых регионах усложняется. Действующие процедуры распределения ограниченного радиочастотного ресурса не гарантируют оператору работу без помех. Поэтому требуются эффективные способы обеспечения защиты от помех.

Методы защиты от радиопомех были разработаны еще в середине XX в., тщательно систематизированы и описаны в отечественной и зарубежной специальной литературе, например в известных работах [2; 3]. Применение различных методов защиты от помех определяется техническими возможностями их реализации. Наиболее широко они используются и развиваются в специальных и военных системах связи, однако все чаще и чаще операторы гражданских систем связи вынуждены также прибегать к защите от радиопомех. В общем виде можно выделить организационные, энергетические, сигнальные и пространственные методы защиты от радиопомех. В данной статье будут рассмотрены методы повышения помехоустойчивости за счет использования шумоподобных сигналов.

Развитие методов цифровой обработки и элементной базы позволяет реализовать на практике методы защиты от помех, основанные на формировании шумоподобных сигналов и обеспечивающие потенциальную помехоустойчивость в 20...30 дБ. Это прежде всего применение псевдослучайных, многочастотных и широкополосных шумоподобных сигналов, а также использование методов помехоустойчивого кодирования сигналов, которые широко используются в современных системах спутниковой связи и демонстрируют удовлетворительную эффективность. Главный

недостаток этих методов – необходимость в более широкой полосе частот для обеспечения защиты от радиопомех. В условиях естественной ограниченности радиочастотного ресурса это существенный недостаток, который снижает эффективность применения таких методов, особенно в высокоскоростных системах. Известно, что увеличение скорости передачи информации при неизменной ширине полосы полезного сигнала приводит к пропорциональному снижению коэффициента помехозащищенности. Поэтому помехозащищенные системы связи обладают низкой пропускной способностью.

Основными базовыми методами расширения спектра сигналов, широко применяемыми в современных системах связи, управления и распределения информации, являются [4]:

- метод непосредственной модуляции несущей псевдослучайной последовательностью (ПСП);
- метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ);
- метод совместного (комплексного) использования различных методов, например метода непосредственной модуляции несущей ПСП и метода ППРЧ.

Рассмотрим новый вид сигналов, полученных модуляцией сигнала биортогональной вейвлет-функции, которые являются достаточно перспективными и обеспечивают наибольшую помехозащищенность [5; 6].

Моделирование проводилось в пакете MatLab. При этом были заданы следующие параметры сигнала:

- скорость передачи информационного символа $V = 1$ кбит/с;
- длина ПСП Голда $N = 31$.

Для модуляции ПСП использовалась функция биортогонального вейвлета [7].

Анализ полученных спектров показал увеличение ширины полосы сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией (рис. 2) в 9 раз по сравнению с шириной полосы сигнала, модулированного ФМ ШПС (рис. 3). Увеличение помехозащищенности полученного сигнала пропорционально увеличению ширины полосы.

Относительная помехозащищенность составляет: ФМ ШПС – 17 дБ; (W) ШПС – 26 дБ.

Для обеспечения большей вероятности правильного выделения полезного сигнала на фоне шумов необходимо обеспечить наибольшее отношение сигнал/шум на входе демодулятора. Для этого в работе проведен анализ эффективности полиномиальной фильтрации (Савицкого–Голея) [8] для наиболее распространенных в ССС типов сигналов BPSK, 8PSK, QPSK, 16QAM при отношении сигнал/шум 3 дБ (рис. 4–7).

Значения выигрыша отношения сигнал/шум после полиномиальной фильтрации приведены в таблице.

Выигрыш в отношении сигнал/шум после полиномиальной фильтрации

Вид модуляции			
BPSK	QPSK	8PSK	16QAM
5...7	5...7	4...7	2...7

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и перспективности использования в ССС цифровой фильтрации сигналов.

Итак, анализ современных тенденций развития методов формирования, фильтрации и коммутации сигналов показал, что спутниковые системы связи нового

поколения необходимо проектировать с использованием единой цифровой бортовой подсистемы. Данная подсистема должна обладать высокоскоростной АТМ-коммутацией, иметь возможность менять режимы работы в зависимости от помеховой обстановки, выполнять адаптивную фильтрацию помех.

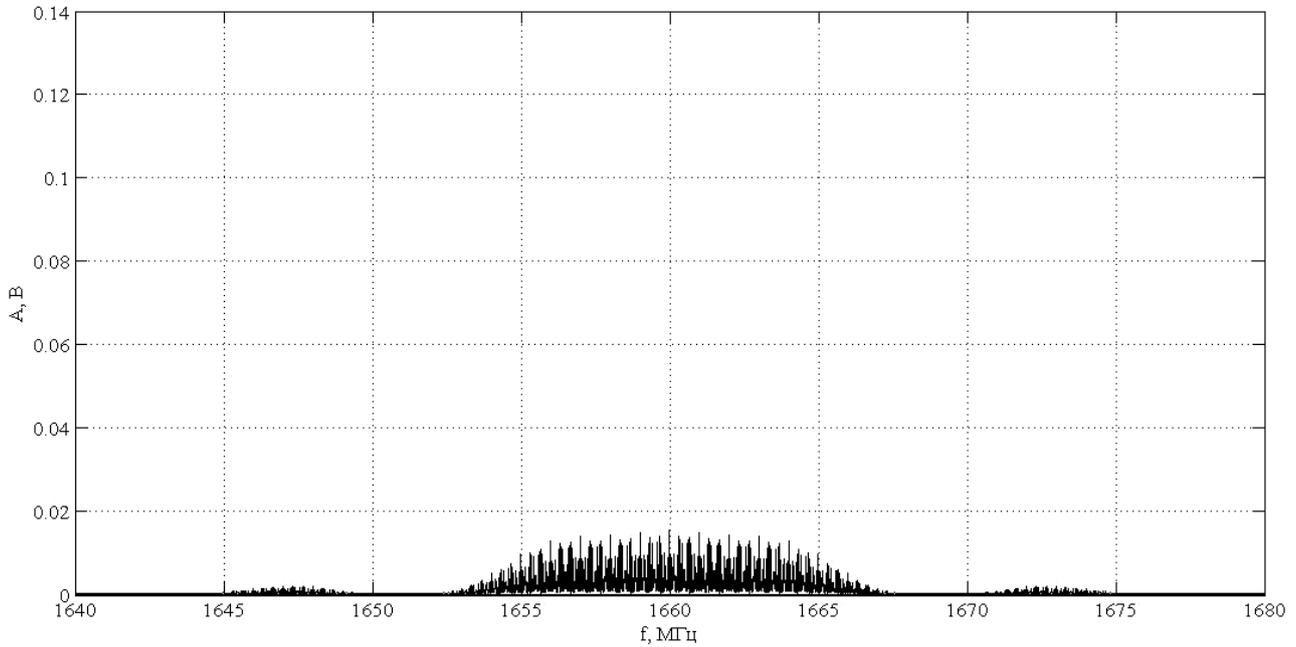


Рис. 2. Спектр сигнала модулированного вейвлет-функцией на несущей частоте 1 660 МГц

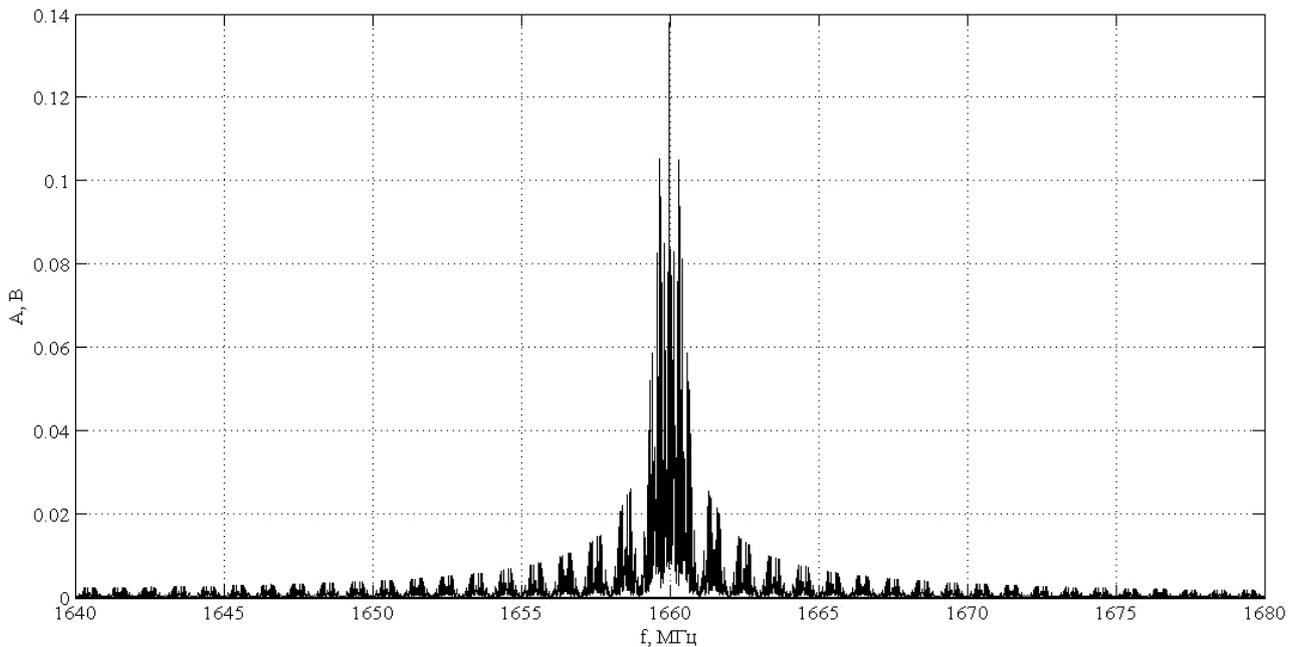


Рис. 3. Спектр сигнала ФМ ШПС на несущей частоте 1 660 МГц

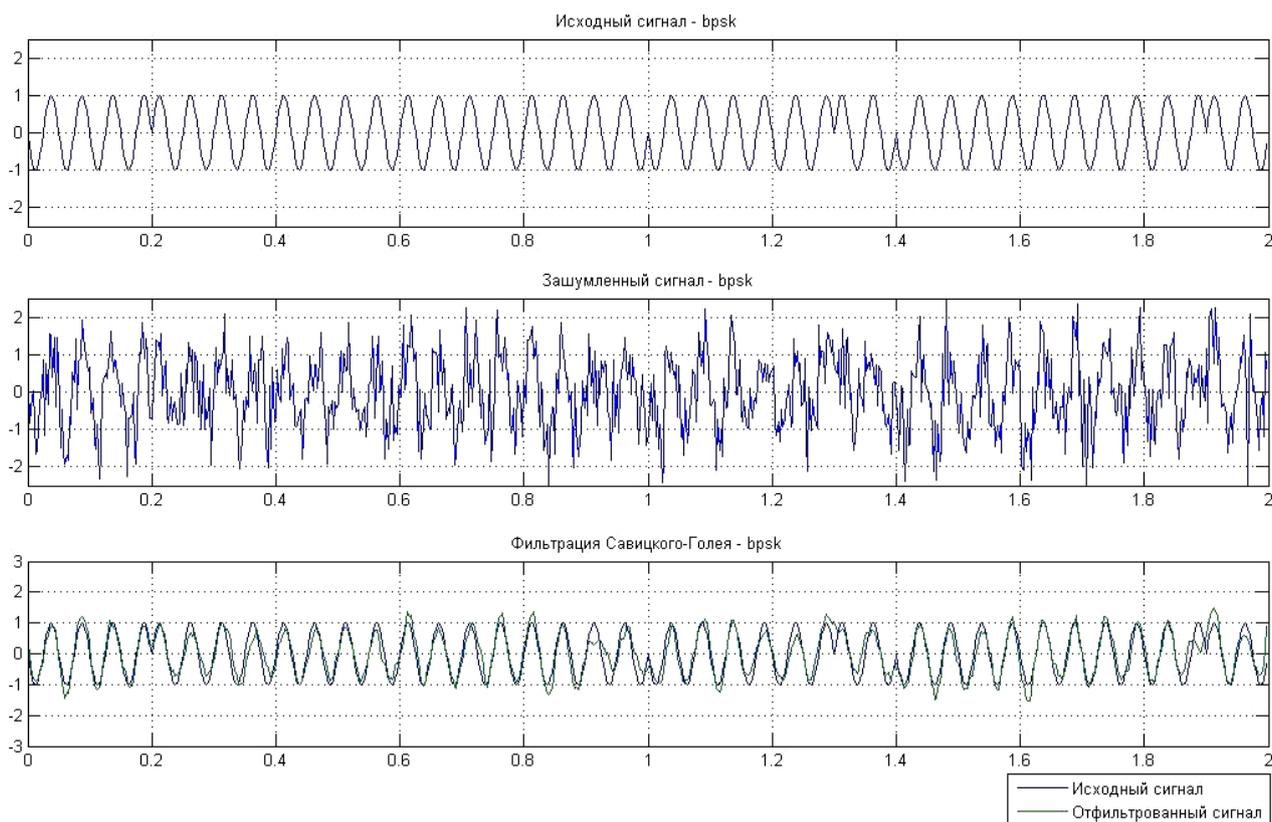


Рис. 4. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал BPSK

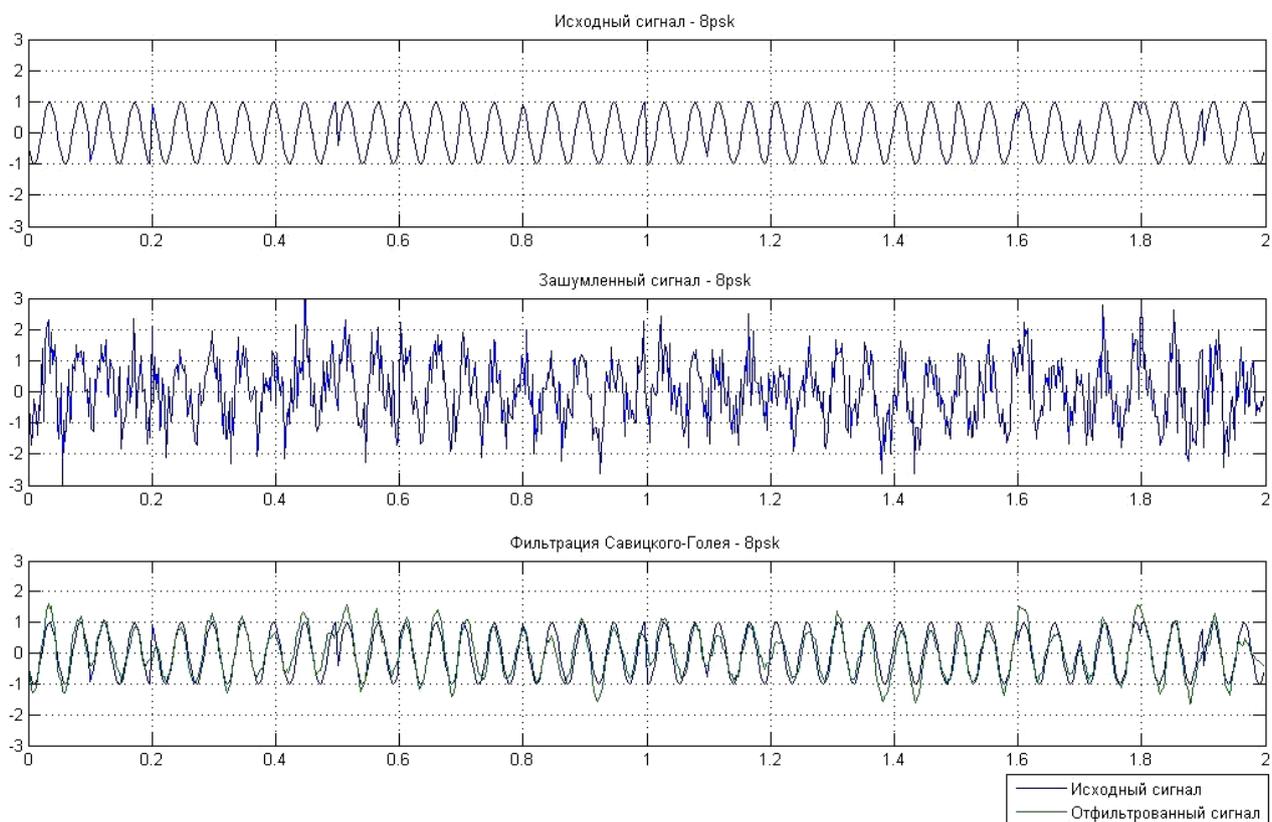


Рис. 5. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал 8PSK

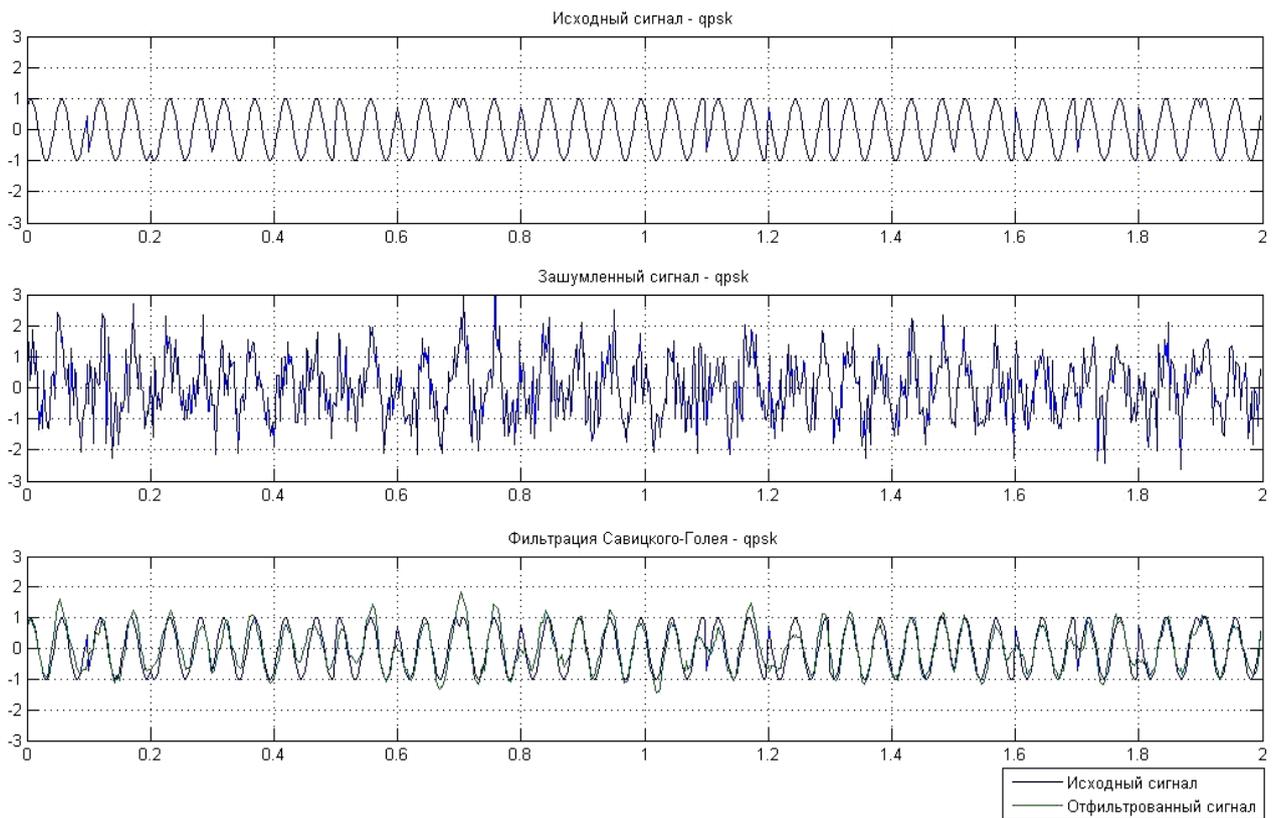


Рис. 6. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал QPSK

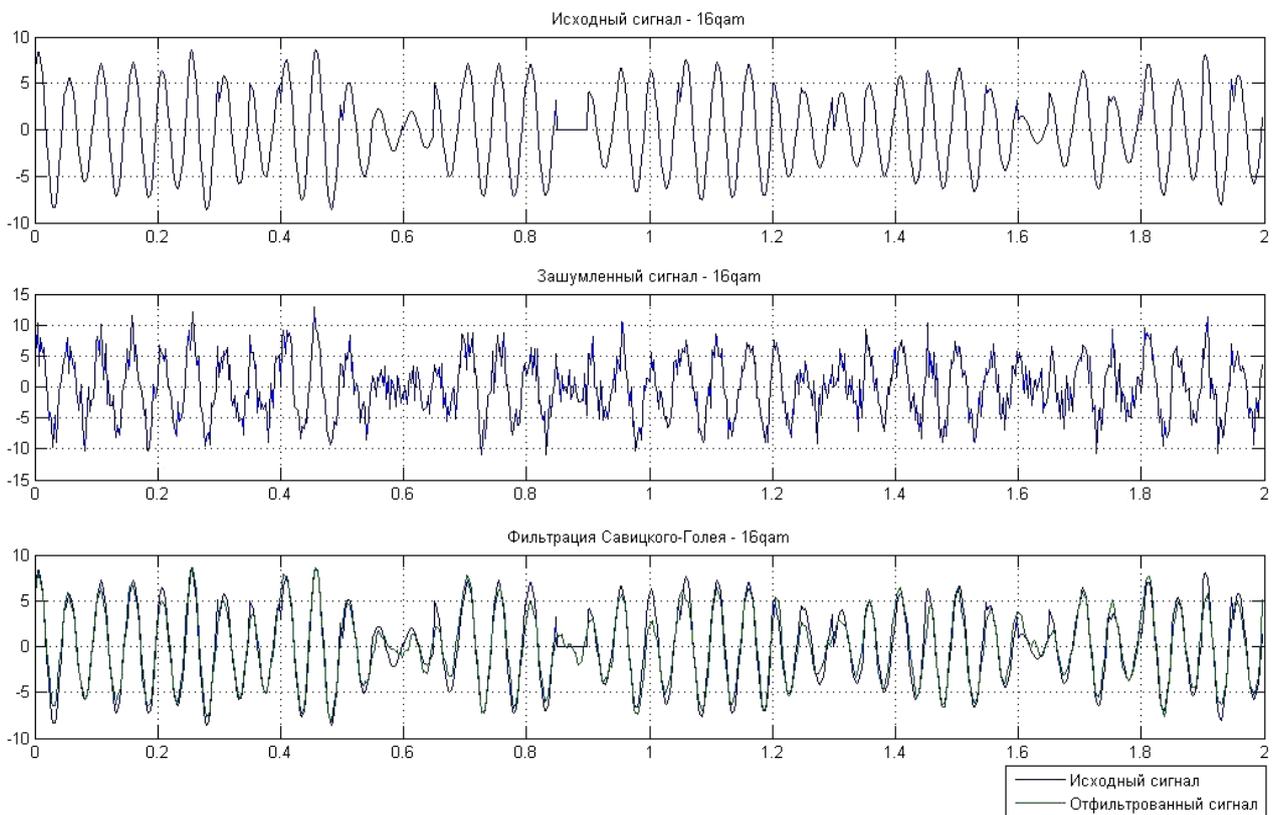


Рис. 7. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал 16QAM

Проведенные исследования показали, что модуляция ПСП биортогональной вейвлет-функцией повышает относительную помехозащищенность на 9 дБ, поэтому вопрос формирования сигналов с использованием ортогональных и биортогональных вейвлет-функций требует дальнейших исследований. Проведенный эксперимент по цифровой фильтрации показал, что отношение сигнал/шум обработанного сигнала можно повысить на 2...7 дБ. Таким образом, для создания эффективных систем спутниковой связи необходимо развивать и внедрять методы цифровой обработки сигналов.

Библиографические ссылки

1. Кунегин С. В. Основы технологии АТМ : учеб.-метод. пособие / в/ч 33965. М., 1999.
2. Защита от радиопомех / М. В. Максимов, М. П. Бобнев, Б. Х. Кривицкий и др. М. : Сов. радио, 1976.

3. Диксон Р. К. Широкополосные системы : пер. с англ. / под ред. В. И. Журавлева. М. : Связь, 1979.
4. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М. : Радио и связь, 1985.
5. Анжина В. А., Кузовников А. В. Модулирование сигнала псевдослучайной последовательностью при помощи ортогональных и биортогональных вейвлет-функций // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Совр. пробл. радиоэлектроники». Красноярск, 2008. С. 364–367.
6. Формирование помехоустойчивого сигнала с использованием вейвлет-функций / А. В. Кузовников, В. А. Анжина, Н. В. Демаков, В. А. Кураков // Материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2009». Томск, 2009. С. 32–34.
7. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М. : ДМК Пресс, 2005.
8. Orfanidis S. J. Introduction to Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1996.

A. V. Kuzovnikov, I. A. Gulyaev

RESEARCH OF EFFICIENCY OF USE OF DIGITAL PROCESSING IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

Prospects of use of digital processing of signals in satellite communication systems are considered. It is shown that digital processing allows to enlarge an energy potential of radio lines and to increase the general throughput of satellite communication systems at the expense of introduction of new types of signal-code designs, an asynchronous method of switching of packages and regeneration of signals on the board a space vehicle. Besides, application of digital processing is perspective for arrangement of communication in difficult radio-electronic conditions. The new kind of signals, which allow to increase noise immunity of a radio channel is offered.

Keywords: digital processing of signals, satellite communication systems, switching methods, noise immunity.

© Кузовников А. В., Гуляев И. А., 2011

УДК 539.3

В. А. Лавренов, А. В. Кацура

ВЛИЯНИЕ ОПЕРАЦИЙ УПРОЧНЕНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Выполнена экспериментальная проверка принципиальной возможности реализации способа упрочнения элементов конструкций и исследовано влияние конструктивно-геометрических параметров деформируемого контурного подкрепления на усталостную долговечность плоских образцов с центральным круглым отверстием.

Ключевые слова: деформирование, прочность, усталостная долговечность.

Результаты усталостных испытаний (рис. 1) показывают, что характер зависимостей усталостной долговечности N образцов с упрочненными отверстиями фиксированного диаметра от исходной высоты деформированной бонки одинаков (кривые 2–5). С увеличением степени пластической деформации возрастают по абсолютной величине остаточные напряжения, увеличивается зона радиального упруго-пластического деформирования материала вокруг бонки,

долговечность образцов при циклических нагрузках возрастает. При относительных деформациях $\varepsilon = 29...38\%$ долговечности образцов максимальны (кривая 1). Затем начинается снижение усталостных характеристик вследствие появления в зоне пластического деформирования материала дефектов, количество и размеры которых растут с увеличением степени деформации. При деформациях $\varepsilon = 65\%$ кривые выходят на очень низкие долговечности (образцы