

УДК 621.398

Преддетекторная обработка телеметрической информации в условиях воздействий дестабилизирующих факторов

Pre-detector processing of telemetry information under the effect destabilizing factors conditions

Бянкин / Byankin A.

Александр Александрович
(aab51@mail.com)

кандидат технических наук.

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия

имени А. Ф. Можайского» МО РФ

(ВКА им. А. Ф. Можайского),

доцент, профессор кафедры телеметрических систем,
комплексной обработки и защиты информации.

г. Санкт-Петербург

Борненко / Bornenko N.

Никита Петрович

(n.p.bor.94@mail.ru)

ВКА им. А. Ф. Можайского,

адъюнкт кафедры телеметрических систем,

комплексной обработки и защиты информации.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: внешние дестабилизирующие факторы – external destabilizing factors; телеметрическая информация – telemetry information; преддетекторная обработка – pre-detection processing; наземные приемно-регистрирующие станции – ground receiving stations.

В статье представлено описание основных электромагнитных внешних дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на прием телеметрической информации, условий применения штатного приемно-регистрирующего оборудования в районах расположения организаций по испытаниям объектов ракетно-космической техники. Рассмотрены этапы обработки телеметрической информации в условиях воздействий дестабилизирующих факторов. Более подробно рассмотрен метод послесессанной преддетекторной обработки записей потоков оцифрованных отсчетов сигналов – когерентная компенсация помех.

In the article the main electromagnetic destabilizing factors affecting the telemetry information reception, the conditions for the applications of reception apparatus in dislocations of testing cosmic rockets facilities is presented. The stages of telemetry information processing under the effect destabilizing factors conditions are described. The method of post-session pre-detector processing of recordings of signals – coherent interferences compensation is considered in details.

Введение

При проведении испытания и контроля технического состояния (ТС) перспективной ракетно-космической техники (РКТ) применяется телеметрирование – совокупность операций, включающих в себя формирование, передачу на расстояние и регистрацию телеметрических сообщений [1]. Сеансы телеметрирования (СТ) между бортовыми информационно-теле-

метрическими системами (БИТС), обеспечивающими сбор телеметрической информации (ТМИ) на борту испытуемого объекта, ее обработку, запоминание, формирование и ввод в канал связи для передачи, и приемно-регистрирующим оборудованием (ПРО), обеспечивающим прием, регистрацию и отображение ТМИ для последующей выдачи ее различным потребителям, проводятся по телеметрической радиолинии посредством передачи групповых телеметрических сигналов (ГТС). При приеме на ПРО эти ГТС подвергаются воздействиям внешних дестабилизирующих факторов (ВДФ), другими словами, различным воздействиям на сеть электросвязи, источниками которых является физический или технологический процесс внутреннего или внешнего по отношению к сети электросвязи характера, приводящих к выходу из строя элементов сети [2]. Влияние ВДФ приводит к искажениям в содержащейся в ГТС информации, т. е. трансформациям символов ноль в символы единица и наоборот в информационных и служебных частях ТМИ, что, в свою очередь, приводит к срыву синхронизации ПРО и полной или частичной потере данных телеметрирования до момента полного восстановления синхронизации ПРО. Потеря данных телеметрирования влияет на такую характеристику контроля ТС, как достоверность – степень объективного соответствия результатов контроля действительному техническому состоянию [3]. Для минимизации воздействия ВДФ, для которых характерны низкие отношения сигнал/шум (ОСШ) и сигнал/помеха (ОСП), в БИТС и ПРО используются различные методы увеличения значений этих отношений для повышения достоверности данных телеметрирования. Несмотря на это, актуальность проведения исследований по повышению этих показателей продолжает возрастать в связи с увеличением объема испытаний РКТ.

Цель данной статьи – рассмотреть основные ВДФ, условия применения штатного ПРО в районах расположения организаций по испытаниям РКТ, проанализировать этапы обработки ТМИ и перспективы развития послесеансной преддетекторной обработки ТМИ.

Внешние дестабилизирующие факторы

Наиболее распространенным классом, оказывающим негативное влияние на прием ТМИ, является класс электромагнитных ВДФ.

Рассмотрим электромагнитные ВДФ по описанию и классификации электромагнитных явлений и процессов в типичных условиях размещения ПРО и опишем их.

Сложная, априори неизвестная и динамично меняющаяся помеховая обстановка. В настоящее время в районах расположения организаций по испытаниям РКТ, размещенных у территории крупных населенных пунктов, находится радиоэлектронный фон, характеризующийся большим содержанием как естественных (космическое излучение, ионосферные и атмосферные искажения и др.), так и промышленных (сигналы цифрового телевидения, сотовой и радиосвязи и др.) помех.

Движущиеся источники помех. К движущимся источникам помех отнесем атмосферные помехи и электромагнитные излучения в радиоприемном устройстве.

Многолучевое распространение сигнала. При многолучевом распространении сигнала дополнительные лучи распространения электромагнитных волн возникают вследствие их рассеивания, затухания и отражения от объектов окружающей среды, слоя ионизации.

Воздействия средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противника. При проведении испытаний РКТ возможно применение противником забрасываемых малогабаритных передатчиков прицельных, заградительных, скользящих, импульсных шумовых и имитирующих помех [4].

Условия применения приемно-регистрирующего оборудования в районах расположения организаций по испытаниям ракетно-космической техники

ПРО этапа испытаний и подготовки РКТ к пуску располагаются в монтажно-испытательных комплексах (МИК) на технических позициях и в помещениях стартовых позиций. Основными каналами передачи ТМИ являются проводные и оптико-волоконные линии, характеризующиеся высокой помехозащищенностью.

ПРО этапов выведения на орбиту и падения представлены радиотелеметрическими средствами (РТС) полигонно-испытательного комплекса (ПИК) космодромов и полигонов. Места расположений космодромов

и полигонов, трассы запусков, пусков и падений РКТ изначально выбирались в малозаселенных районах, что исключало влияние промышленных помех на условия радиоприема. Основными причинами и источниками ВДФ из окружающей среды являются сложные условия полета объектов (преимущественно многолучевое распространение сигнала).

ПРО этапа управления представлены РТС, входящими в состав средств частей наземного автоматизированного измерительного комплекса для объектов РКТ, а также РТС, располагаемыми на специализированных полигонах для испытаний авиационных, беспилотных, ракетных, зенитно-ракетных и других систем. В последнем случае РТС могут входить в состав как стационарных, так и мобильных (в том числе самолетных и вертолетных) ИП. ПРО наземного автоматизированного измерительного комплекса часто привлекаются для дополнения возможностей средств ПИК, когда трассы запуска проходят в их зонах радиовидимости. Места полигонов, трассы полетов объектов испытаний также изначально выбирались в малозаселенных районах, что исключало существенное влияние электромагнитных ВДФ на условия радиоприема (за исключением естественных помех).

Этапы обработки ТМИ. Послесеансная обработка ТМИ: преимущества и недостатки

Повышение достоверности данных телеметрирования обработкой ТМИ необходимо реализовывать на трех основных этапах:

- 1) преддетекторная обработка (на этапе оцифровки отсчетов сигналов с приемных устройств на промежуточной частоте (ПЧ) и проведения их дальнейшей обработки различными алгоритмами);
- 2) детекторная обработка (на этапе демодуляции и дальнейшей обработки полученных видеосигналов);
- 3) последетекторная обработка (на этапе восстановления структуры данных битового потока).

Данные этапы обработки необходимо выполнять в режиме послесеансной обработки ТМИ, который предполагает выполнение необходимых операций с записями ТМИ после проведения СТ испытаний РКТ. Послесеансная обработка позволяет повысить достоверность данных телеконтроля посредством использования различных сложных итерационных алгоритмов. Основным недостатком этого вида обработки является потеря оперативности телеконтроля.

В настоящее время проблема повышения достоверности данных телеметрирования в ПРО в сложных условиях приема сигналов, характеризующихся низкими ОСШ и ОСП, решается посредством разнесенного приема ТМИ в пространстве как на разные антенно-фидерные системы (АФС), так и на различное территориально-распределенное ПРО [5, 6], разнесенного приема по частоте, по времени, по поляризации [1, 5] и оптимальной обработкой ТМИ [7, 8].

Разнесенный прием ТМИ в пространстве на разные антенны основан на последетекторной обработке записей ТМИ нескольких комплектов ПРО с отдельными АФС одного ИП. В этом случае после СТ проводится сравнительный анализ определенного параметра записей ТМИ (качество, уровень АРУ и др.) комплектов ПРО между собой и для дальнейшей обработки используется запись с более высоким показателем параметра.

Разнесенный прием на различное территориально-распределенное ПРО основан на аналогичном методе: проводится запись ТМИ после детектора на несколько комплектов ПРО ИП, разнесенных друг от друга на значительные расстояния. В этом случае записи ТМИ от разных ИП согласуют между собой по времени, проводят сравнительный анализ показателя записи того или иного участка ТМИ, далее участки с наиболее высоким показателем соединяются в единый носитель ТМИ СТ. Полученный единый носитель ТМИ используется для дальнейшей обработки [5, 6].

Оптимальная обработка подразумевает реализацию различных алгоритмов, повышающих достоверность ТМИ, на этапе последетекторной обработки. К этим методам относятся [7, 8]:

- 1) методы сжатия и преобразования ТМИ при согласовании потоков данных;
- 2) методы узкополосной фильтрации значений параметров по косвенным признакам;
- 3) методы повышения достоверности телеизмерений: отбраковка аномальных ошибок измерений и сглаживание измерений функциональных параметров, отбраковка ложных срабатываний сигнальных параметров.

В работе [9] для последетекторного восстановления ТМИ предлагается использовать алгоритмы с использованием искусственного интеллекта: модификацию ZET-алгоритма, часто используемого для работы с поврежденными массивами данных, и аппараты искусственных нейронных сетей.

Тем не менее, несмотря на многообразие существующих методов послесанной обработки, устранить потери и искажения ТМИ удастся не во всех случаях, а при применении методов последетекторной обработки участки потери ТМИ точному восстановлению не подлежат.

Одним из перспективных, но наименее проработанных методов является преддетекторная обработка ГТС.

Преддетекторная обработка: преимущества, постановка задачи, виды

Преддетекторная обработка ГТС заключается в обработке значений оцифрованных отсчетов ГТС с выходов аналоговых квадратурных каналов приемника на ПЧ. Преддетекторная обработка ГТС позволяет восстановить амплитудные, частотные и фазовые составляющие сигналов, и тем самым получить максимально доступную в них информацию.

Рассмотрим задачу, решаемую преддетекторной обработкой. Пусть имеется радиоканал передачи ТМИ вида (1):

$$S = s_{\text{ТМИ}} + s_{\Pi} + n(t), \quad (1)$$

где $s_{\text{ТМИ}} = A_{\text{ТМИ}}(\omega_c t + \varphi_c(t))$ – телеметрический сигнал (ТМС), передаваемый с объекта РКТ, структура кото-

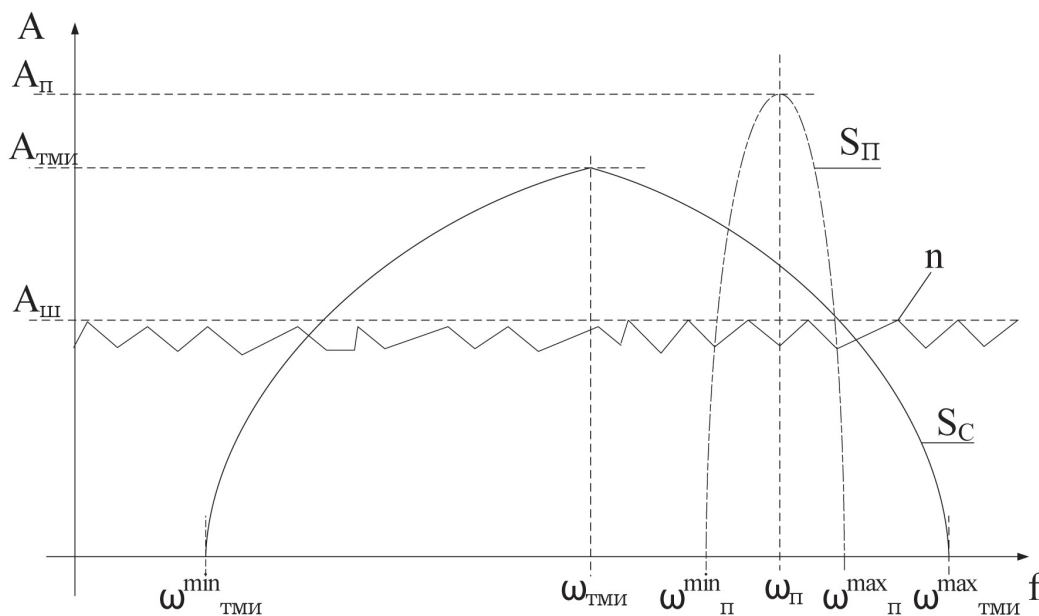


Рис. 1. Схема расположения спектров ограничений

рого априорно известна, в котором $A_{\text{ТМИ}}$ – групповой телеметрический видеосигнал, ω_c – частота сигнала, $\varphi_c(t)$ – фаза сигнала;

$s_{\Pi} = A_{\Pi}(\omega_{\Pi}t + \varphi_{\Pi}(t))$ – сигнал от источника помехи, в котором A_{Π} – амплитуда помехи, ω_{Π} – частота помехи, $\varphi_{\Pi}(t)$ – фаза помехи;

$n(t)$ – шумы радиолинии природного происхождения.

Допустим, что величины амплитуд $A_{\text{ТМИ}}$, A_{Π} и фазы $\varphi(t)$ неизвестны, а частоты ω_c и ω_{Π} определяются только с точностью до ограничений (2) и (3):

$$\omega_{c\min} \leq \omega_c \leq \omega_{c\max}, \quad (2)$$

$$\omega_{\Pi\min} \leq \omega_{\Pi} \leq \omega_{\Pi\max}, \quad (3)$$

при этом диапазон частот помехи $\Delta_{\Pi} = \omega_{\Pi\max} - \omega_{\Pi\min}$ находится в диапазоне частот ТМС $\Delta_{\text{ТМИ}} = \omega_{\text{ТМИ}\max} - \omega_{\text{ТМИ}\min}$, т. е. $\omega_{c\min} \leq \omega_{\Pi} \leq \omega_{c\max}$. На рис. 1 представлена схема спектров описанных ограничений, где S_c – спектр сигнала, S_{Π} – спектр помехи, n – спектр шума.

На основе этих данных ставится задача на минимизацию воздействия помехи s_{Π} на ТМС $s_{\text{ТМИ}}$.

Для выполнения поставленной задачи в преддетекторной обработке ГТС возможно применение методов адаптивной фильтрации и когерентной компенсации помех [10, 11]. Методы адаптивной фильтрации заключаются в использовании фильтров различного вида с коэффициентами, рассчитываемыми по алгоритмам, подстраивающимся под конкретную помеховую обстановку. Когерентная компенсация помех заключается в использовании одного или нескольких каналов приема сигналов для компенсации или вычитания помехи из смеси сигнала и помехи различными алгоритмами.

Пример метода подавления помехи в телеметрической радиолинии в масштабе реального времени описан в работе [12].

Одним из подходов восстановления ТМИ на основе преддетекторных записей является метод сингулярно-спектрального анализа, основанный на исследовании стационарных и нестационарных временных рядов. Более подробно данный метод описан в работах [13, 14, 15].

Перспективным способом повышения достоверности данных телеметрирования в сложных условиях является двухканальный метод когерентной компенсации помех (ККП). Данный метод описан в [16, 17].

Реализация алгоритмов ККП в реальном масштабе времени для борьбы с непрерывными помеховыми сигналами невозможна вследствие применения большого количества вычислительных операций, которые приводят к большим временным задержкам при обработке сигналов. В связи с данными ограничениями для реализации алгоритмов ККП предлагается использовать послесекансную обработку на основе записей потоков оцифрованных отсчетов сигналов основного и компенсационного трактов ПРО. Для реализации этого в современных наземных приемно-регистрирующих станциях (НПРС) имеются аппаратно-программные средства, проводящие преддетекторную запись сигналов после их дискретизации и квантования на выходе линейного тракта приемников на ПЧ. Данные средства реализованы в новых итерациях НПРС МПРС-ПМВ от ОКБ МЭИ [18] и в ИТМК от ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова» [19, 20].

Для наиболее оптимальной реализации ККП на основе записей потоков оцифрованных отсчетов сигналов основного и компенсационного трактов НПРС в качестве АФС необходимо использовать фазированную антенную решетку (ФАР). При этом в ФАР должно быть выполнено уравнивание времени появления фронтов электромагнитных волн ГТС в основной и компенсационной антенне в фазовом центре ФАР, а также согласование диаграммы направленности (ДН) компенсационной антенны F_{κ} с боковыми лепестками основной антенны F_o согласно равенствам (4) и (5):

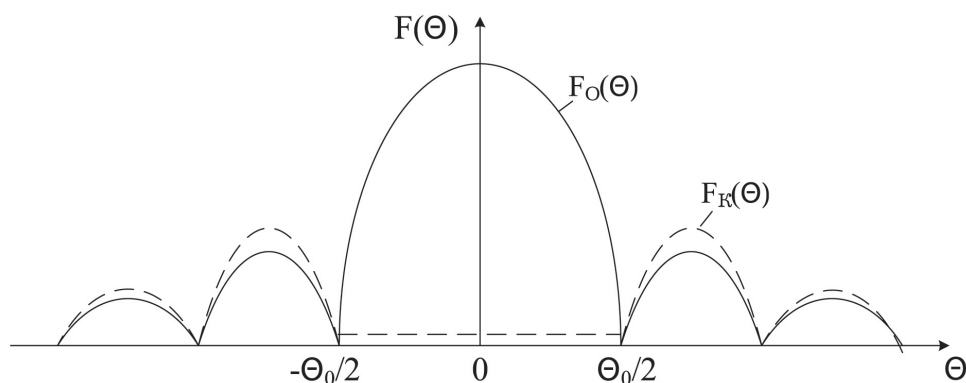


Рис. 2. Схема ДН антенн основного и компенсационного каналов

$$F_K(\Theta) = 0 \text{ при } -\frac{\Theta_0}{2} \leq \Theta \leq \frac{\Theta_0}{2}, \quad (4)$$

$$F_K(\Theta) = F_O(\Theta) \text{ при } \Theta \leq -\frac{\Theta_0}{2} \text{ и } -\frac{\Theta_0}{2} \geq \Theta, \quad (5)$$

где Θ – угол, отсчитываемый от направления максимума ДН приемной антенны, а Θ_0 – ширина главного лепестка ДН приемной антенны. Схема ДН антенн, удовлетворяющих этим условиям, изображена на рис. 2. ДН основной антенны $F_O(\Theta)$ изображена сплошной линией, а компенсационной $F_K(\Theta)$ – пунктирной.

При этом ФАР должна функционировать в режиме автосопровождения сигналов. Упрощенная схема приемного тракта системы ККП на основе ФАР представлена на рис. 3, где A_O – часть ФАР, выполняющая функцию основной антенны, A_K – часть ФАР, выполняющая функцию компенсационной антенны, $\varphi_1 \dots \varphi_{16}$ – элементы антенной решетки, F_O и F_K – ДН основной и компенсационной антенн соответственно.

Суть метода ККП послесекансной обработки на основе преддетекторных записей потока оцифрованных отсчетов сигналов заключается в вычитании из записи потока оцифрованных отсчетов сигналов основного тракта:

$$S_O = S_{\text{ТМИ}_0} + S_{\text{П}_0} + n_O, \quad (6)$$

включающего информационный сигнал $S_{\text{ТМИ}_0}$, помеху $S_{\text{П}_0}$ и шум n_O , только помехового сигнала из записи потока оцифрованных отсчетов сигналов компенсационного тракта:

$$S_K = S_{\text{П}_K} + n_K, \quad (7)$$

включающую только помеху $S_{\text{П}_K}$ и шум n_K . При этом для более эффективной обработки необходимо, чтобы уровень сигнала помехи $S_{\text{П}_K}$, поступающего на лепесток ДНА компенсационного тракта, был выше уровня помехового сигнала $S_{\text{П}_0}$, поступающего на основной или боковой лепесток ДНА основного тракта, что должно быть обеспечено описанной выше ФАР.

Обобщенная схема устройства ККП для НПСР изображена на рис. 4.

Выбор алгоритма работы устройства формирования весовых коэффициентов W в устройстве ККП определяется информацией о сигнале и помехе (частота, мощность, спектр в целом, структура данных, структура помехи и др.), получаемой с сигналов основного ($X_0(t)$) и компенсационного ($X_1(t)$) каналов вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризации НПСР.

Для корректного функционирования алгоритма в технологии подготовки и проведения СТ необходимо предусмотреть предварительное сканирование зоны радиовидимости компенсационной антенной, выявить

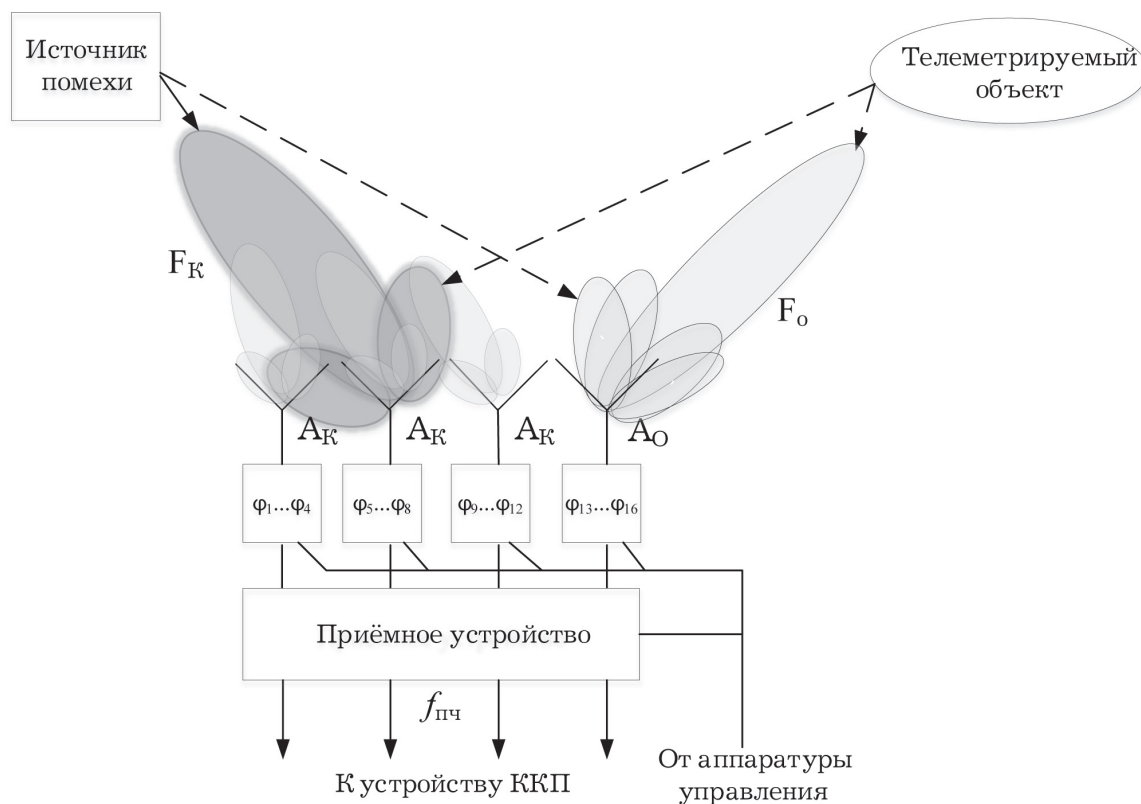


Рис. 3. Упрощенная схема приемного тракта системы ККП на основе ФАР

возможные направления приема помехи, провести оценку на наличие наиболее мешающей и др.

Компьютерное моделирование когерентной компенсации помех

Моделирование процессов преддетекторной обработки ТМИ для оценивания потенциальной и реальной достижимой эффективности повышения достоверности и в целях отладки специального программно-математического обеспечения реализации методов компенсации, фильтрации, демодуляции сигналов различными способами предлагается проводить посредством имитационного компьютерного моделирования. При моделировании процессов возможно моделирование как используемых сигналов радиолинии ТМИ и возможного воздействия помех ВДФ, так и отлаживаемых устройств обработки сигналов с целью проведения оценки эффективности того или иного алгоритма обработки ГТС. В качестве помех в данной работе проводилось моделирование помех типа немодулированная несущая, многочастотная помеха, шумовая прицельная помеха, имитационная помеха.

Современные функциональные возможности средств имитационного моделирования позволяют разрабатывать модели процессов преддетекторной обработки с применением визуального программирования блоками, реализующих как базовые функции цифровой обработки сигналов, такие как арифмети-

ческие действия над входными отсчетами сигналов, фильтрация и накопления отсчетов, так и более сложные, как блоки модуляции или манипуляции, генерации сигналов и помех.

Рассмотрим модель ККП в среде визуального моделирования GNU Radio Companion [21, 22]. На рис. 5 представлена часть потокового графа обработки реализации алгоритма согласно обобщенной схемы устройства ККП (рис. 4).

На вход алгоритма на основной канал (блок Virtual Source со Stream ID main) подается смесь полезного сигнала в виде сигнала структуры кодоимпульсной модуляции – фазовой манипуляции, помехи «немодулированная несущая» и шума, а на вход компенсационного канала (блок Virtual Source со Stream ID additional) – смесь помехи «немодулированная несущая» и шум. Блок Complex Conjugate проводит преобразование Гильберта над сигналом, блоки Add, Multiply, Divide – операции сложения, умножения, деления, блок Delay – задержка на 1 отсчет, блоки QT GUI Time Sink и QT GUI Frequency Sink – инструментарий для отображения формы и спектра сигнала. Частота модели информационного сигнала – 4 МГц, частота модели помехи «немодулированная несущая» – 3,9 МГц. На рис. 6 представлены графические изображения спектров основного канала (а), компенсационного канала (б) и результата обработки алгоритма ККП (в), где S_c – спектр сигнала, S_n – спектр помехи, n – спектр шума.

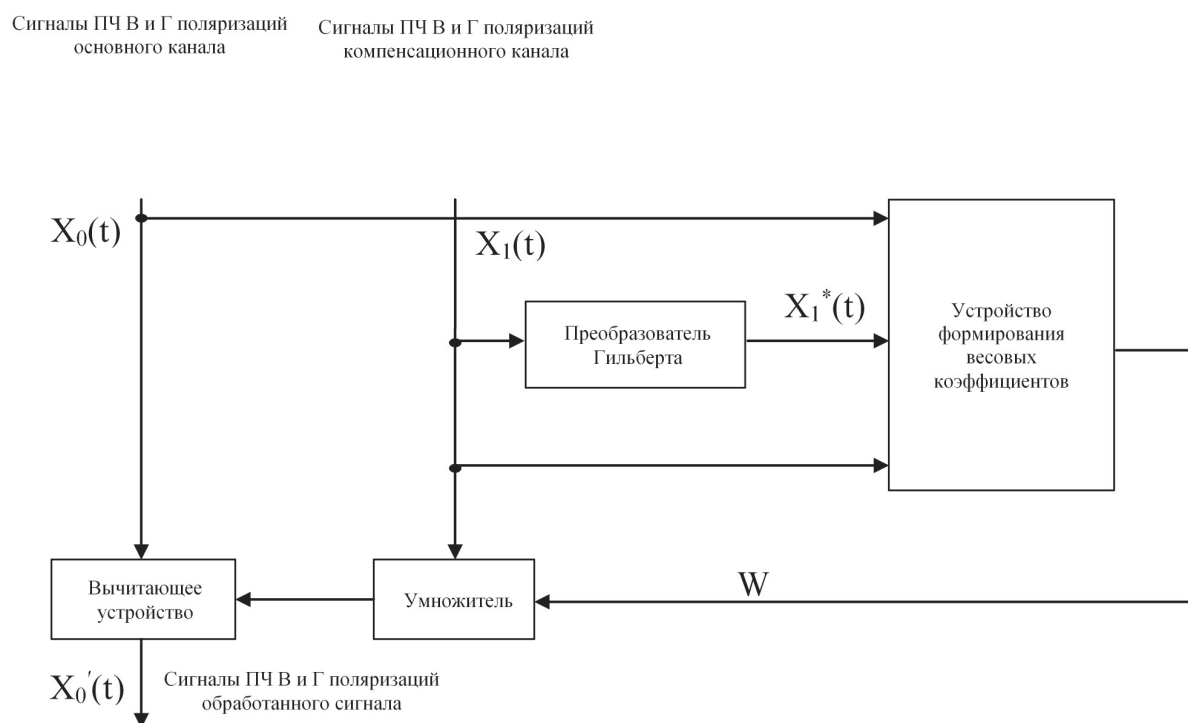


Рис. 4. Обобщенная схема устройства ККП для НПРС

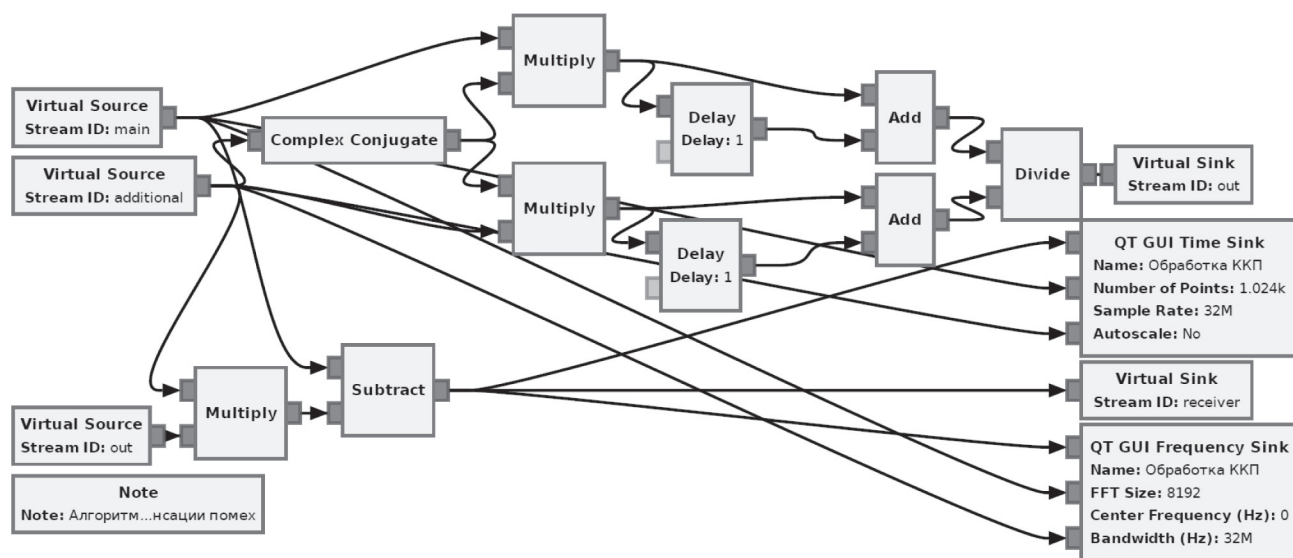
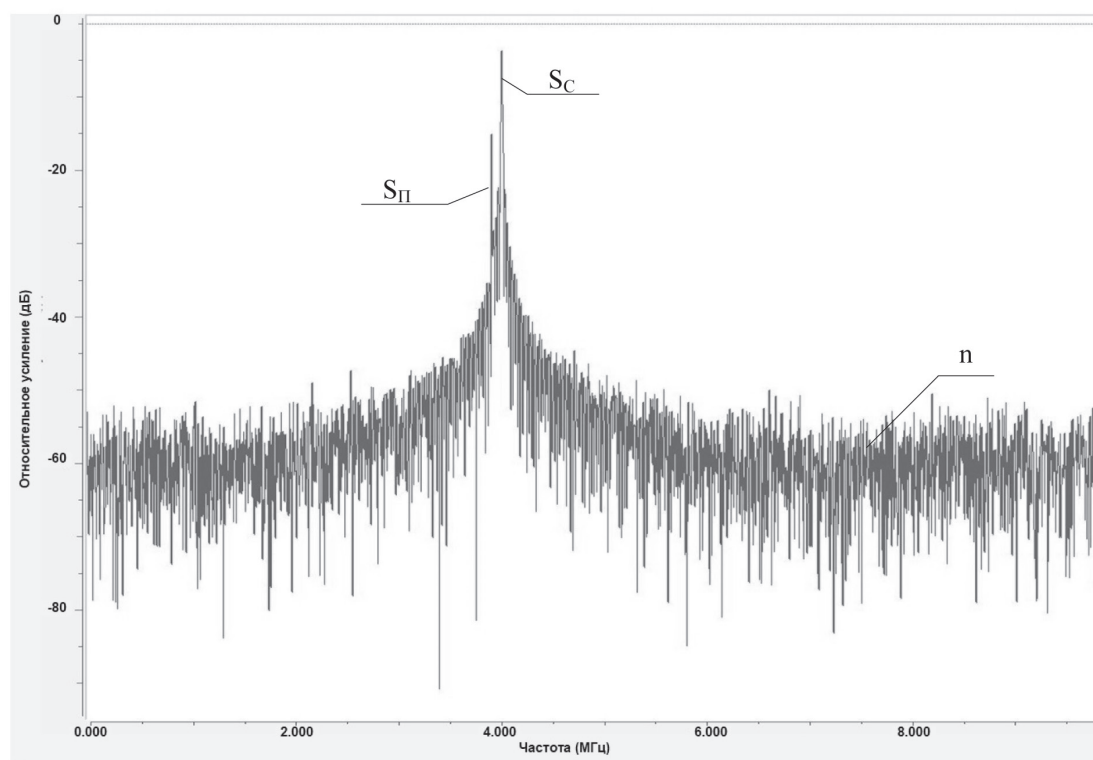
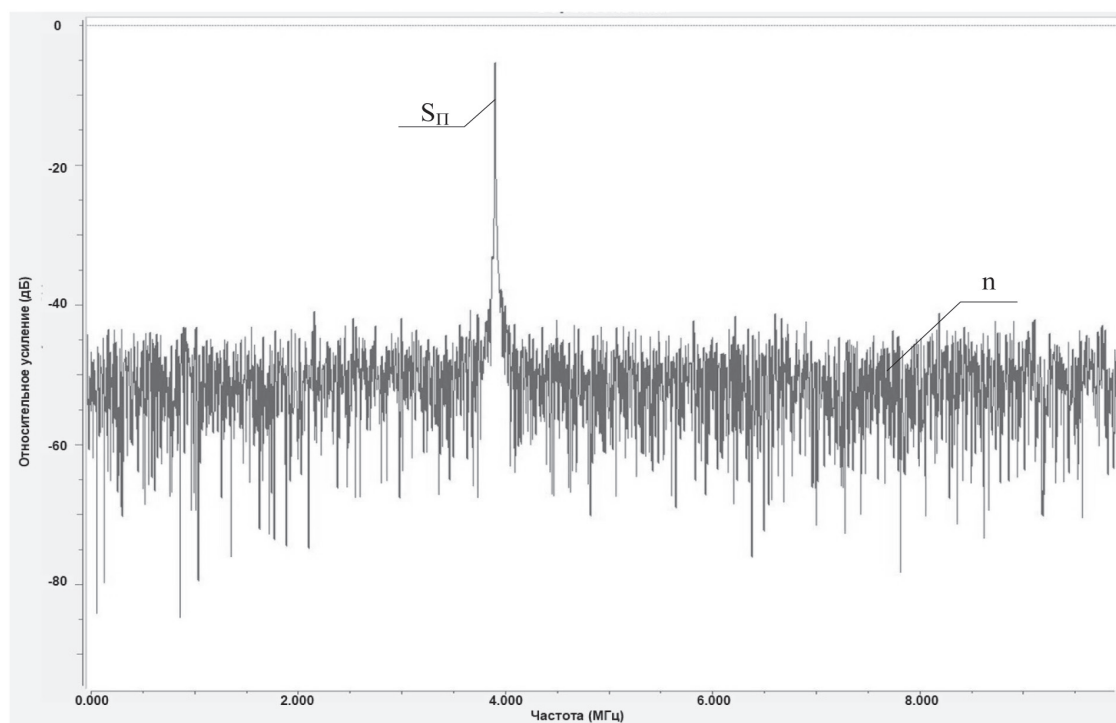


Рис. 5. Потокосый граф алгоритма ККП

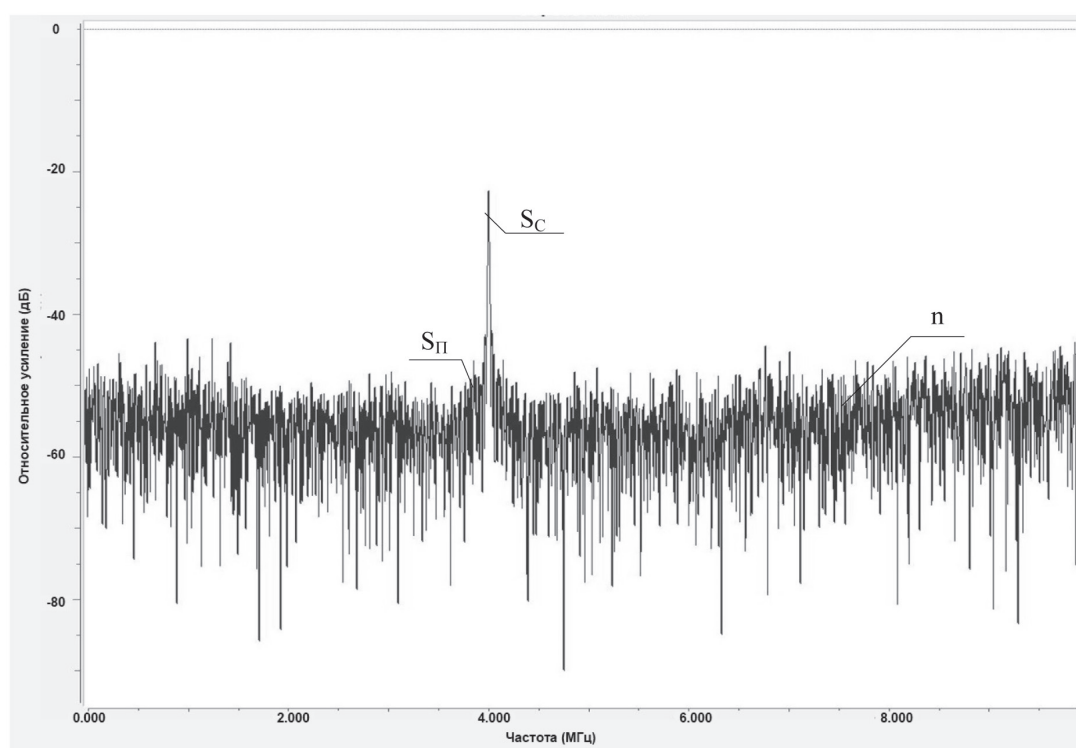


а) основного канала;

Рис. 6. Спектрограммы модели воздействия помехи «немодулированная несущая» на сигнал структуры КИМ-ФМ



б) компенсационного канала;



в) результата обработки алгоритмом.

Рис. 6. Спектрограммы модели воздействия помехи «немодулированная несущая» на сигнал структуры КИМ-ФМ

Таблица 1

Сравнительная таблица измерений компьютерного моделирования

Параметр	Вид канала	Основной канал	Компенсационный канал	После обработки алгоритмом
Значение уровня помехи, дБ		-11	-2	-57
Значение уровня сигнала, дБ		0	-45	-25
Отношение сигнал/помеха, дБ		11	-43	32

В таблице 1 представлены результаты измерений компьютерного моделирования.

Проанализировав результаты моделирования, можно сделать следующие выводы:

- после обработки представленным алгоритмом ККП ОСП стало равно 32 дБ вместо 11 дБ;
- компенсация помехи «немодулированная несущая» составляет 46 дБ;
- вместе с помехой «немодулированная несущая» также были подавлены спектральные составляющие полезного сигнала на 2...12 дБ.

Заключение

В данной статье проведен анализ существующих методов послесанной обработки ТМИ, представлено описание основных электромагнитных ВДФ, условий применения штатного ПРО в районах расположения ведущих организаций по испытаниям, подготовке к пуску и управлению объектов РКТ.

На основе анализа рассмотрены методы послесанной обработки ТМИ: выделены три этапа обработки (преддетекторная, детекторная и последетекторная), конкретизирована задача преддетекторной обработки ГТС в условиях воздействий электромагнитных ВДФ, описана реализация ККП на основе записей потоков оцифрованных отсчетов сигналов основного и компенсационного трактов НПРС. В случае преддетекторной обработки ГТС появляется возможность восстановления амплитудных, частотных и фазовых составляющих сигналов с получением максимально доступной информации.

Моделирование процессов преддетекторной обработки ТМИ для оценки потенциальной и реальной достижимой эффективности повышения достоверности и в целях отладки специального программно-математического обеспечения реализации методов компенсации, фильтрации, демодуляции сигналов различными способами проводится посредством имитационного компьютерного моделирования. Результаты моделирования воздействия помехи «немодулированная несущая» на сигнал структуры КИМ-ФМ показывают, что применение ККП позволяет существенно улучшить помехозащищенность и помехоустойчивость ПРО. Важным направлением реали-

зации ККП является разработка программных алгоритмов потоковой обработки оцифрованных отсчетов сигналов на основе программируемых логических интегральных схем и процессорных систем.

Литература

1. Телеметрия : учебник / А.И. Лоскутов, А.А. Бянкин, Г.И. Козырев [и др.] – Санкт-Петербург : ВКА имени А.Ф. Можайского, 2017. – 343 с.
2. ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 19 с.
3. Основы испытаний бортовых радиоэлектронных систем : учебник / А.И. Лоскутов, Г.И. Козырев, А.Н. Сакулин, А.А. Бянкин. – Санкт-Петербург : ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016. – 255 с.
4. Матвеев, А. М. Современные способы борьбы с помехами в радиоэлектронных системах ракетно-космической техники / А.М. Матвеев, В.С. Конищев // Военная мысль. – 2021. – № 4. – С. 101–105.
5. Воронцов, В. Л. Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома / В.Л. Воронцов. – Набережные Челны : ИПЦ КГИЭА, 2009. – 286 с.
6. Воронцов, В. Л. Об оценке эффективности разнесенного приема телеметрической информации при летных испытаниях ракетно-космической техники / В.Л. Воронцов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 7. – С. 50–53.
7. Методы и средства обработки телеметрической информации : учебное пособие / А.И. Лоскутов, А.А. Бянкин, В.И. Кондратюк, В.П. Обрученков. – Санкт-Петербург : ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. – 119 с.
8. Будко, П. А. Способы повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах контроля / П.А. Будко, Н.П. Будко, А.М. Винограденко // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 2. – С. 176–211.
9. Абрамов, Н. С. Интеллектуальный анализ телеметрической информации для диагностики оборудования космического аппарата / Н.С. Абрамов, А.А. Талалаев, В.П. Фраленко // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2016. – № 1. – С. 64–75.

10. Адаптивные алгоритмы компенсации помех : учебно-методическое пособие / Д.Н. Ивлев, И.Я. Орлов, А.В. Сорокина, Е.С. Фитасов. – Нижний Новгород : ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2014. – 88 с.

11. Адаптивные компенсаторы помех. Принципы построения и применения / Б. Уидроу, Д. Гловер, Д. Маккул-мл. [и др.] // ТИИЭР. – 1975. – Т. 63, № 12. – С. 69–98.

12. Семенов, В. Ю. Подавление узкополосных стационарных помех в телеметрическом комплексе на основе автокомпенсатора с удаленными каналами / В.Ю. Семенов, А.В. Коротышев // Журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 12. – С. 2.

13. Дуников, А. С. Алгоритм восстановления телеметрической информации на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала / А.С. Дуников, А.А. Бянкин, Р.В. Митронин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2020. – Т. 18, № 5. – С. 20–34.

14. Дуников, А. С. Восстановление телеметрической информации летательных аппаратов с учетом выбора параметров сингулярно-спектрального разложения додетекторной записи сигнала / А.С. Дуников, А.А. Бянкин, Э.А. Бардаев // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – №1 (35). – С. 35–43.

15. О системах обработки сигналов некогерентного рассеяния на видео- и промежуточной частотах / Л.Я. Емельянов, А.И. Лялюк, А.В. Рогожкин, Е.А. Храмов // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2013. – № 28. – С. 38–45.

16. Метод когерентной компенсации помехи с применением дополнительного канала приема в радиотелеметрических наземных приемно-регистрирующих станциях / А.Б. Артюшкин, А.А. Бянкин, Н.П. Борненко, В.П. Обрученков // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2021. – № 4/1. – С. 65–72.

17. Арсентьев, В. Г. Подавление локальных помех в пространственно-многоканальных системах обнаружения / В.Г. Арсентьев // Вестник СибГУТИ. – 2010. – №1 (9). – С. 13–32.

18. Станция МПРС-ПМВ. Руководство по эксплуатации. Часть 1. РЭ ЯГАИ.464349.044–2018. – 40 с.

19. ИТМК. Руководство по эксплуатации. РЭ ГВАТ.467461.007 – 2018. – 75 с.

20. Васильев, В. С. Разработка и совершенствование приемно-регистрирующих телеметрических комплексов для полигонных измерительных комплексов / В.С. Васильев, А.В. Коротышев, А.В. Чернов // Информация и Космос. – 2020. – № 3. – С. 79–84.

21. Blossom, E. GNU Radio: Tools for Exploring the Radio Frequency Spectrum / E. Blossom // Linux Journal. – 2004. – Iss. 122. – P. 4.

22. Липатников, В. С. Моделирование устройств цифровой обработки сигналов с помощью программного инструмента GNU Radio / В.С. Липатников // 17-я Международная конференция Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2015 (Москва, 25–27 марта 2015 г.). – 2015. – Т. 2. – С. 641–645.