

Программно-аппаратный комплекс для моделирования помехозащищенности радиоэлектронных систем управления летательными аппаратами

С. Г. Почивалов¹, П. Н. Топчий², В. А. Шаулов³

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

¹psg50@rambler.ru 1, ²pawel-topchy@yandex.ru 2, ³shaulov.1974@mail.ru 3

Аннотация. Разработанный комплекс позволяет выполнять полунатурные исследования помехозащищенности радиоэлектронных систем управления летательными аппаратами в условиях воздействия преднамеренных помех. Приведено краткое описание программно-аппаратного комплекса на базе модуля NI PCI-5640R фирмы «National Instruments».

Ключевые слова: радиоэлектронные системы управления летательными аппаратами, моделирование, преднамеренные помехи

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных тактико-технических характеристик радиоэлектронных систем (РЭС) управления летательными аппаратами (ЛА) является помехозащищенность. Количественной мерой помехозащищенности является вероятность ошибки приема информационного символа, возникающей при воздействии различного вида помех. В качестве количественной меры помехоустойчивости космической радиолинии с цифровой обработкой сигналов (ЦОС) используется традиционный показатель – вероятность ошибки различения сигналов P_0 .

Для практического решения задач, связанных с оценкой помехозащищенности РЭС управления ЛА в условиях воздействия различных видов преднамеренных помех, выполняются полунатурные исследования с использованием программно-аппаратного комплекса (ПАК).

Соотношения, определяющие вероятность ошибки при воздействии помех искусственного происхождения, имеют достаточно сложный вид и для исследования с использованием ПАК предполагают наличие формализованных моделей таких помех, что не всегда оказывается возможным.

В рамках формализованного подхода к математическому описанию все помехи разделялись на непрерывные и импульсные, при этом непрерывные помехи, в свою очередь, подразделялись на гармонические и шумовые (рис. 1).

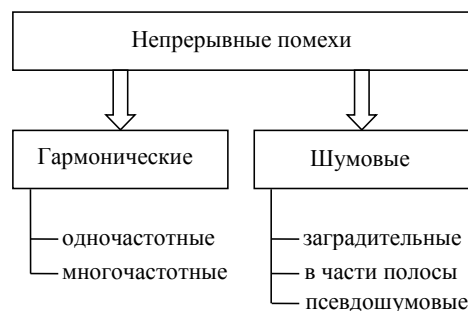


Рис. 1.

Для корректности выбора математических формализованных соотношений для описания помех вводятся некоторые ограничения. Так, все помехи на входе радиоприемного устройства рассматриваются как случайные процессы, при этом перечень помех ограничен классом аддитивных стационарных гауссовских случайных процессов.

В рамках сделанных допущений относительно вида случайных процессов, которыми интерпретируется помеха, обучающимся в ходе исследования характеристик радиоканала управления ЛА предоставляется возможность изучить воздействие на радиосистему некоторых наиболее типичных видов стационарных гауссовских помех искусственного происхождения [1]:

- гармонической (одночастотной);
- многочастотной;
- псевдошумовой;
- заградительной;
- шумовой в части полосы.

II. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС

ПАК состоит из двух компонентов – программной части и аппаратной платформы.

Основу программной части ПАК составляют программно-реализованные с использованием специального программного средства – LabVIEW [2] математические модели возможных видов преднамеренных помех РЭС [3, 4].

Аппаратная часть ПАК выполнена на базе модуля NI PCI-5640R фирмы «National Instruments». Модуль NI PCI-5640R имеет интерфейс PCI и выполнен на плате, которая устанавливается в 32-разрядный PCI-слот материнской платы HOST-компьютера. На плате размещена ПЛИС фирмы Xilinx Virtex-II Pro, которая позволяет обрабатывать потоки данных, передаваемых с HOST-компьютера.

В состав модуля NI PCI-5640R входят два трансивера со следующими параметрами [5]:

- количество каналов на прием/на передачу – 2/2;
- разрешение ЦАП/АЦП – 14 бит/14 бит;
- максимальная тактовая частота ЦАП/АЦП – 100/200 МГц;
- максимальная полоса пропускания – 20 МГц;
- диапазон входных частот – 0.1...100 МГц.

Принципиальной особенностью ПАК является возможность работы модуля NI PCI-5640R под управлением среды LabVIEW. Применение пакета расширения NI Modulation Toolkit из библиотеки функций LabVIEW позволяет формировать сигналы со стандартными и с пользовательскими видами модуляции, варьировать значения полос пропускания трансиверов, а также реализовывать различные варианты расширения спектра сигналов применительно к типу исследуемой РЭС.

Структурно-логическая схема ПАК представлена на рис. 2.

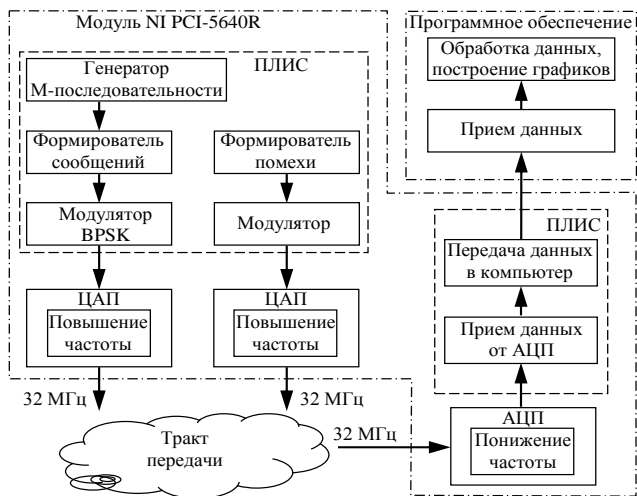


Рис. 2.

При моделировании процессов функционирования канала управления ЛА в условиях воздействия преднамеренных помех один из трансиверов модуля NI PCI-5640R используется для формирования помехи, другой – для формирования информационных символов, например, разовых команд управления ЛА.

Высокочастотное колебание, модулированное информационным сигналом, излучается передатчиком первого трансивера, входящего в состав модуля NI PCI-5640R, сигнал помехи – передатчиком второго трансивера, также входящего в состав этого модуля. Оба сигнала одновременно поступают на антенный вход приемника, входящего в состав первого трансивера модуля NI PCI-5640R.

Частота радиосигнала в процессе функционального моделирования радиоканала принимается равной 32 МГц, что соответствует промежуточной частоте радиоприемного устройства наземной станции системы управления КА. На этой же частоте формируется и сигнал помехи.

Модуль NI PCI-5640R при работе под управлением LabVIEW оперирует квадратурными составляющими (I, Q) сигнала. После преобразования в ЦАП сигнал, сформированный в квадратурах, переносится на радиочастоту. Принятый радиосигнал после понижения частоты и аналого-цифрового преобразования представляется в виде отсчетов квадратур. На рис. 3 представлена фронтальная панель АПК.

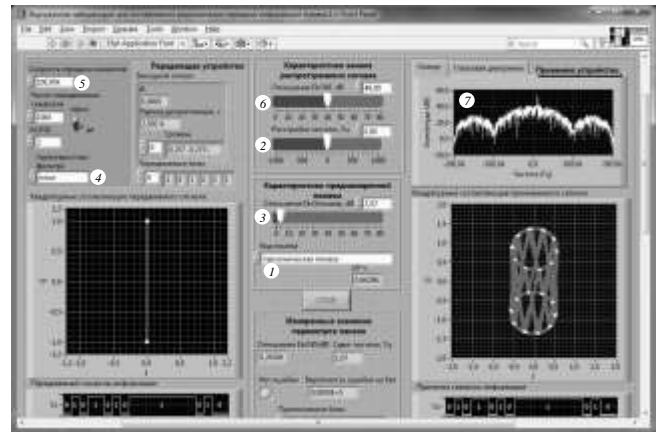


Рис. 3.

Управляющие элементы фронтальной панели позволяют выбирать один из четырех видов помех – гармоническую, полигармоническую, шумовую либо помеху в части полосы (1). Для каждого вида помех выбирается значение ее расстройки относительно центральной частоты сигнала (2) и отношение мощности сигнала к мощности помехи (3). Для помехи, сосредоточенной в части полосы, кроме того, задается отношение полосы частот, занимаемой помехой, к полосе сигнала. Также на фронтальной панели находится переключатель, позволяющий из набора фильтров, ограничивающих полосу передаваемого сигнала, выбрать необходимый (4), и регулирующие элементы, позволяющие изменять скорость передачи информации (5). Кроме того, предусмотрено изменение отношения энергии информационного бита E_b к спектральной плотности гауссовских шумов N_0 в радиоканале (6). Отдельный виртуальный прибор отображает спектр входного сигнала, подверженного воздействию помех (7).

Амплитудно-фазовые распределения передаваемого и принимаемого сигналов отображают виртуальные мониторы (8) и (9) соответственно. Линии, соединяющие позиции символов, показывают межсимвольные переходы.

III. ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследований помехоустойчивости РЭС управления ЛА с фазоманипулированными сигналами при отсутствии и использовании некоторых кодов Рида–Соломона для канального кодирования приведен на рис. 4.

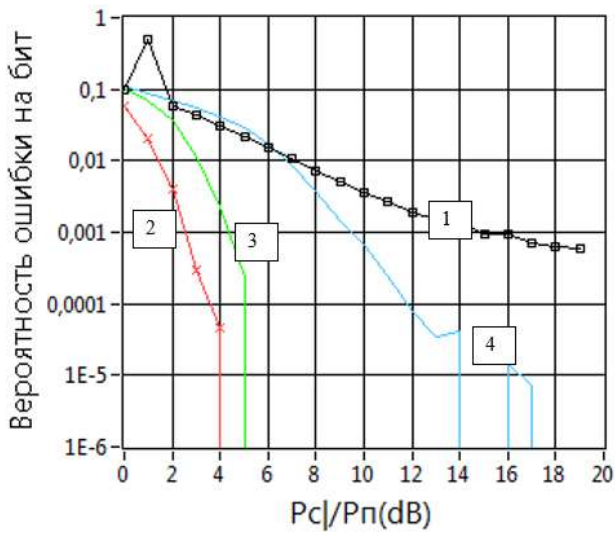


Рис. 4.

Кривая 1 соответствует зависимости вероятности ошибки на бит от соотношения мощностей сигнала и помехи при отсутствии канального кодирования.

Кривая 2 соответствует зависимости вероятности ошибки на бит от соотношения мощностей сигнала и помехи при использовании для канального кодирования кодов Рида–Соломона (31,7).

Кривая 3 – при использовании для канального кодирования кодов Рида–Соломона (31,15).

Кривая 4 – при использовании для канального кодирования кодов Рида–Соломона (31,27).

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение ПАК в учебном процессе позволяет сделать более наглядным механизм возникновения ошибок при передаче информации и облегчает восприятие процессов, происходящих в радиоканале в условиях воздействия преднамеренных помех.

Особую актуальность использование разработанного ПАК приобретает на этапе эскизного проектирования РЭС управления ЛА, когда задача оптимизации ее структуры с целью обеспечения требуемого уровня помехозащищенности решается перебором различных вариантов построения приемного тракта.

На этапе эскизного проектирования РЭС управления ЛА применение разработанного ПАК позволяет сократить временные затраты, связанные с выбором структуры РЭС, обеспечивающей требуемый уровень помехозащищенности в условиях воздействия преднамеренных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. М.: Радио и связь, 2003. 640 с.
- [2] Федосов В.П., Нестеренко А.К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2007. 472 с.
- [3] Почивалов С.Г., Рябиик Е.П., Топчий П.Н. Математические модели шумоподобных помех для командно-измерительных систем с цифровой обработкой сигналов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2016. Вып. 651. С. 84–90.
- [4] Почивалов С.Г., Ряховский Е.П., Топчий П.Н. Функциональное моделирование радиоканала управления космическим аппаратом на базе программно-аппаратного комплекса // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2015. Вып. 1. С. 66–71.
- [5] NI PCI-5640R specifications. Available at: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371620c.pdf>