



УДК 621.396.962.23

В. Ю. Антипов, А. Ю. Метельников, Е. Г. Токарев

Метод и технология полунатурного моделирования бортовых радиосистем ближнего действия фазодоплеровского типа

Рассмотрены методика и технология полунатурного моделирования радиосистем ближнего действия, учитывающие особенности функционирования и специфику применения бортовых систем фазодоплеровского типа. Приведены примеры реализации стенда для полунатурного моделирования, структурно-функциональные схемы полунатурного стенда и типовой пример результата моделирования одной из радиосистем ближнего действия.

Ключевые слова: комплексный имитационно-моделирующий стенд, радиосистемы ближнего действия, расчет отраженных сигналов, ближняя радиолокация.

Введение

Проведение натуральных экспериментов радиосистем ближнего действия необходимо для оценки возможности выполнения требований тактико-технических заданий (ТТЗ) к высокоскоростным средствам доставки (ВСД) до цели и требует больших материальных и временных затрат. Как правило, наименьшее количество летных экспериментов проводят в полной комплектации ВСД, что не позволяет проверить их работоспособность, в особенности аппаратуры системы подрыва на базе различных радиосистем ближнего действия, только натурными экспериментами. Другими словами, за минимальное число натуральных экспериментов необходимо проверить максимальное количество параметров и условий работы системы, гарантирующих выполнение предъявляемых к ней требований, и принять решение о их соответствии ТТЗ.

Решить проблему можно с помощью создания комплексных имитационных моделирующих стендов (КИМС), в состав которых входят аппаратура и математические модели с их последующей аттестацией по ограниченному количеству натуральных и полунатурных экспериментов. Это требует существенно меньших затрат, чем проведение натуральных экспериментов, и позволяет прогнозировать функционирование как системы в целом, так и ее подсистем практически для любых вариантов применения.

Основные задачи

полунатурного моделирования

Главная задача полунатурного моделирования на КИМС радиосистем ближнего действия (РБД) – получение показателей качества и эффективности функционирования (оценка области срабатывания, вероятностных характеристик работы по цели и т. д.) в составе ВСД для заданных в ТТЗ условий применения с целью валидации аппаратуры.

К основным назначениям работ на КИМС РБД относят не только проверку правильности ее функционирования, но и рекомендации по доработке аппаратуры РБД до ее поставки для комплектации ВСД перед натурными испытаниями. Не менее важно, что в процессе проведения испытаний может быть получен большой объем результатов для паспортизации математической модели РБД в составе ВСД для последующей оценки выполняемости всех требований ТТЗ к ВСД методом математического моделирования на комплексе аттестованных математических моделей ВСД.

Как показывает практика, в настоящее время существуют большие возможности для создания полунатурных КИМС для РБД как в аппаратной части, так и в части общего программно-алгоритмического обеспечения (ПАО). При этом практически полностью отсутствуют готовые технологические решения, позволяющие реализовать КИМС, в котором были бы адекватно учтены особенности функционирования РБД, взаимодействующих с высокоскоростными, малозаметными объектами в условиях естественных и специально организованных помех.

© Антипов В. Ю., Метельников А. Ю., Токарев Е. Г., 2016



В данной статье рассмотрен один из вариантов решения данной задачи для РБД фазодоплеровского типа с непрерывным подсветом, используемых в ВСД.

На КИМС РБД, согласно анализа, могут быть получены результаты работы аппаратуры РБД и ее ПАО в составе ВСД для типовых условий применения:

- по одиночной цели в свободном пространстве, по прикрытой шумовой помехой одиночной маловысотной цели, на фоне подстилающей поверхности;
- по постановщику активной шумовой помехи, в том числе прикрытому шумовой помехой;
- по группе из двух «чистых» целей, или по группе из двух постановщиков помех;
- по цели с уводящей помехой по доплеровской скорости.

Отметим, что недостатком процессов, имитируемых на КИМС РБД при работе по имитатору радиосигнала в сборке с аппаратурой РБД, является их «статичность», так как они получаются при фиксированных угловых положениях аппаратуры РБД и источников радиосигналов. Указанный недочет может быть нивелирован проведением экспериментов для различных угловых положений и уровней сигналов.

Методика моделирования РБД

Основную задачу моделирования в большинстве случаев определяет оценка качества функционирования ВСД с аппаратурой РБД для проверки выполнения требований технического задания. Согласно существующей технологии тестирования проводят на комплексе математических моделей надсистемы, состоящем из моделей системы управления ВСД (ММУ-ВСД) и комплекса имитационных математических моделей для оценки эффективности ее применения (КИММ-Э) (рис. 1).

Комплекс моделей системы управления ВСД включает в себя:

- модель движения цели и ВСД;
- модель бортовых средств самонаведения (БСН);
- модель инерциальной системы;
- модель наземных средств многофункциональных информационно-измерительных станций (МФИИС);

- модель пункта управления (ПУпр);
- модель аппаратуры стартовой автоматики (АСА).

В состав КИММ-Э обычно входят геометрическая или сигнальная математические модели РБД. Геометрическая модель учитывает только логику работы аппаратуры РБД во взаимодействии с системой управления ВСД. Сигнальная модель является более точной в части описания процессов, происходящих как в аппаратуре РБД, так и в системе «РБД – ВСД». В большинстве случаев в существующей сигнальной модели достаточно задать цель распределением «блестящих» точек с фиксированным годографом эффективной отражающей поверхности (ЭОП) по углам наблюдения и приема. Аттестация модели РБД в соответствии с вышесказанным сводится к введению в нее следующих элементов:

- законов распределения ЭОП цели;
- характеристик аппаратуры РБД и ее начальных состояний;
- имитаций обмена с СУ;
- инструментальных ошибок;
- ошибок мерцания;
- ошибок, обусловленных воздействием помех прикрытия и эффектом интерференции при обнаружении групповых и низколетящих целей.

Радиолокационные математические модели ряда типовых целей (в виде распределения «блестящих» точек в требуемом диапазоне длин волн) обычно разрабатывает и верифицирует предприятие–разработчик РБД. Они инварианты для всех вновь создаваемых РБД.

На этапе полунатурных работ при наземной отработке РБД фазодоплеровского типа на КИМС РБД могут быть решены задачи по аттестации математических моделей, используемых для оценки следующих параметров:

- областей срабатывания в различных условиях встречи (дальность срабатывания, количество ложных срабатываний, количество несрабатываний);
- характеристик квадратурных составляющих сигналов на входе сигнальных каналов высокочастотного приемного устройства (ВПУ);

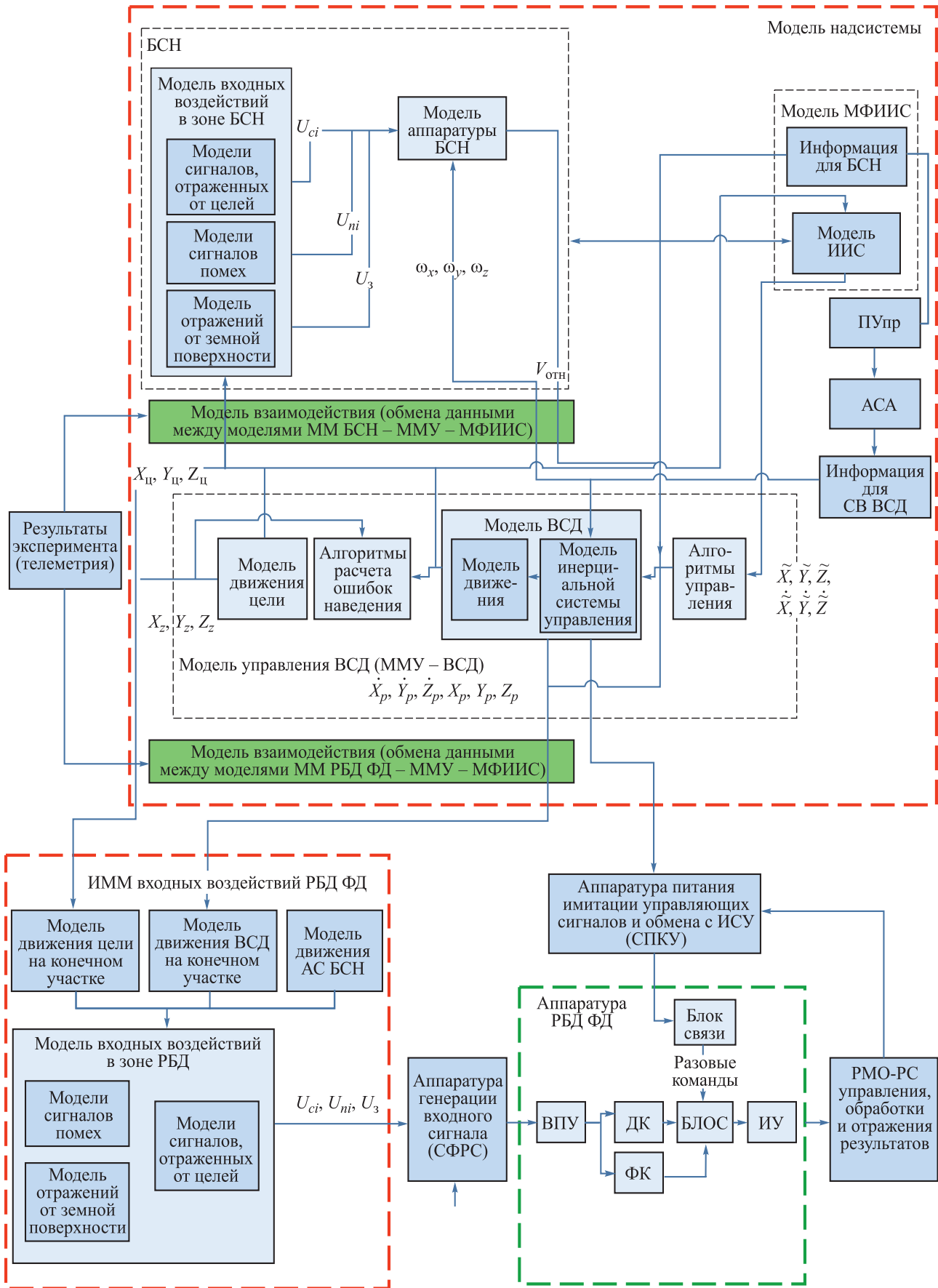


Рис. 1. Структурно-функциональная схема КИМС



- характеристик квадратурных составляющих сигналов на выходе фильтров сосредоточенной селекции сигнальных каналов ВПУ;
- характеристик квадратурных составляющих сигнала на выходе доплеровских фильтров низких частот (ФНЧ) с различной отстройкой центральной частоты;
- характеристик выходных сигналов на выходе ФНЧ каждого доплеровского канала;
- моментов срабатывания доплеровских каналов;
- характеристик суммарной фазы сигнала на входе фазового детектора основного и квадратурного каналов;
- характеристик сигналов с выходов основного и квадратурного каналов;
- моментов общего срабатывания частотного канала;
- моментов общего срабатывания фазового канала;
- моментов общего срабатывания аппаратуры.

С точки зрения системного подхода для верификации работы математической модели радиосистем ближнего действия фазодоплеровского типа и валидации аппаратуры для большего диапазона условий встречи целесообразно привлекать КИМС РБД с ММУ-ВСД и КИММ-Э.

В соответствии с принятой технологией для каждого проектируемого изделия разрабатывают автоматизированную комплексную испытательную станцию (АКИС), позволяющую проверить исправность всех подсистем, в том числе и радиосистем ближнего действия. Создание КИМС РБД на базе АКИС-ВСД позволяет комплексно и с минимальными затратами контролировать ключевые команды и сигналы, необходимые для валидации аппаратуры РБД и верификации математической модели.

Показатели правильности работы аппаратуры РБД ВСД совместно с требованиями, предъявляемыми к системе, определяют критерии правильности ее работы, что в свою очередь позволяет выбрать методику, технологию и объем проводимых стендовых экспериментов. Методика проведения эксперимента и структура комплекса математических моде-

лей определяет структурно-функциональную схему КИМС РБД.

Правильность работы аппаратуры РБД ВСД характеризуют следующие показатели:

- вероятность срабатывания по цели для условий встречи, заданных ТТЗ (P_{cp});
- вероятность ложных срабатываний по подстилающей поверхности, по помехе (естественной или искусственной) ($P_{лcp}$);
- пространственная конфигурация эффективной области срабатывания (OS) аппаратуры РБД по цели для условий встречи, заданных ТТЗ (Θ).

Критериями правильности работы аппаратуры РБД фазодоплеровского типа для ВСД обычно служат следующие правила принятия решения:

- 1) аппаратура РБД должна обеспечивать срабатывание по заданным целям (S) в заданных условиях применения для типовых условий встречи (Θ) с вероятностью не ниже требуемой (P_{cp}): по беспилотным целям (Sb) – $P_{cp}(Sb, h_{\Sigma}, \Theta) \geq P_{mp, cp}(Sb, h_{\Sigma})$, по пилотируемым целям – (Sp): $P_{cp}(Sp, h_{\Sigma}, \Theta) \geq P_{mp, cp}(Sp, h_{\Sigma})$;
- 2) аппаратура РБД должна обеспечивать разброс координат срабатывания (σ_x) не более X_{mp} при вероятности накрытия уязвимого контура цели (P_H) для всех типов целей (S), заданных ТТЗ, не ниже

$$P_H^{TP} - \sigma_x(S) | P_H \leq P_H^{TP} \leq X_{mp};$$

- 3) аппаратура РБД должна формировать эффективную область срабатывания (OS) по заданным целям (S), обеспечивающую условную вероятность поражения (УВП) ($P_A(\sigma)$) целей одной ВСД не менее требуемого уровня (P_A^{mp}) при заданных уровнях условного закона поражения (УЗП) $P_A(h_{\Sigma})$: для беспилотных целей – $P_A(Sb, h_{\Sigma}) \geq P_A^{mp}(Sb, h_{\Sigma})$, для пилотируемой авиации – $P_A(Sa, h_{\Sigma}) \geq P_A^{mp}(Sa, h_{\Sigma})$;

- 4) аппаратура РБД должна обладать высокой помехоустойчивостью от организованных помех (ξ) и совместно со средством воздействия обеспечивать требуемый уровень УВП ($P_A(\sigma) > P_A^{mp}$) на заданном множестве целей (S) при воздействии помех, заданных ТТЗ.

Структурно-функциональная схема полунатурного стенда

Для реализации концепции полунатурного моделирования аппаратуры РБД фазодоплеровского типа в составе изделия было принято решение разработать оборудование комплексных имитационных моделирующих стендов, используя опыт создания АКИС ВСД. Для достижения вышеуказанных целей были сформулированы основные требования к стенду:

- многофункциональность – стенд должен обеспечивать все необходимые входные воздействия на РБД и анализировать выходные;
- универсальность – возможность использования широкого спектра модельных сигналов методом программной реконфигурации без доработки аппаратной части стенда;
- возможность работать с распространенными интерфейсами различного типа.

Также была сформирована общая концепция построения стенда – использование многофункциональной модульной платформы *PXI* в сочетании с разрабатываемым блоком двухканального переносчика частоты (ДПЧ), который представляет собой СВЧ-устройство для преобразования опорной частоты модельного сигнала при помощи дифференциальной квадратурной модуляции. Полунатурный стенд состоит из следующих комплектующих:

- электронно-вычислительной машины с комплексом математических имитационных моделей, реализуемых в среде *Simulink* и *Visual Studio 2005*;
- промышленного компьютера технологии *PXI*, обеспечивающего управление, обработку и отображение результатов экспериментов;
- блока двухканального переносчика частоты;
- источника питания;
- аппаратуры РБД фазодоплеровского типа.

Внешний вид блока «двухканального переносчика частоты» и промышленного компьютера технологии *PXI* представлен на рис. 2.

Промышленный компьютер технологии *PXI*, в свою очередь, состоит из высокопроизводительного 18-слотового шасси *NI PXI-1075*,

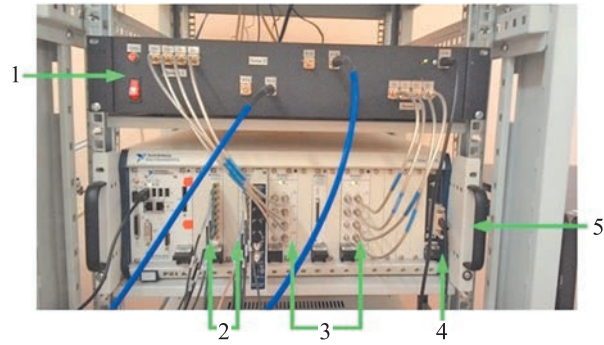


Рис. 2. Внешний вид блока ДПЧ (сверху) и промышленного компьютера *PXI*:

- 1 – блок «Двухканальный переносчик частоты»;
- 2 – высокоскоростные осциллографы *NI PXIe-5105*;
- 3 – генераторы сигналов произвольной формы *NI PXIe-5451*;
- 4 – интерфейсная плата *AIT MIL-STD-1553*;
- 5 – промышленный компьютер технологии *PXI*

набора фронтально загружаемых в него модулей и контроллера.

Для решения задач, возникающих в процессе разработки КИМС, используют модули:

- интерфейсную плату *AIT MIL-STD-1553*, обеспечивающую обмен информацией между промышленным компьютером и РБД по ГОСТ Р 52070–2003;
- высокоскоростные осциллографы *NI PXIe-5105* (2 шт.) для приема и оцифровки всех выходных сигналов с РБД, которые необходимо контролировать в процессе полунатурной работы;
- генераторы сигналов произвольной формы (2 шт.) *NI PXIe-5451*, обеспечивающие формирование модулирующих сигналов для двухканального переносчика частоты.

Контроллер *NI PXI-8133* управляет работой всего стенда, включая не унифицированный блок двухканального переносчика частоты, разработанный по отдельному техническому заданию. Характеристики контроллера позволяют реализовывать сложные вычислительные алгоритмы и обмениваться большими объемами информации с каждым из встроенных в систему модулей (до 8 Гбайт/с для всей системы). В качестве среды проектирования используется высокоуровневый язык программирования *LabVIEW 2012*, созданный специально для *PXI*-систем. Главные и принципиальные отличия *LabVIEW* от классических языков программирования –



графический способ проектирования программ и их потоковое исполнение – позволяют находить новые пути решения задач, а в ряде случаев получить качественно лучшие результаты. При этом сам процесс разработки новых программно-технических комплексов [1] упрощается.

На контроллере установлена операционная система *WINDOWS 7*, а созданный при помощи *LabVIEW* удобный интерфейс программы позволяет убрать отдельное рабочее место оператора.

Методика и условия проведения стендового эксперимента

При проведении экспериментальных работ необходимо задать общую последовательность действий. В нее входят:

1) разработка плана полунатурных экспериментов на КИМС РБД, в котором указывают перечень типовых условий встречи ВСД с целью;

2) проведение сквозного математического моделирования на ММУ-ВСД и КИММ-Э для РБД определенных планом условий применения ВСД;

3) формирование по результатам моделирования массивов входных сигналов для РБД фазодоплеровского типа для каждой точки плана экспериментов в виде таблиц;

4) проведение на КИМС РБД полунатурного моделирования для всего массива входных сигналов;

5) формирование массива выходных сигналов (реакция РБД) и массива оценок показателей правильности работы аппаратуры ($P_{ср}$, $P_{лср}$, OS);

6) проведение на КИММ-Э моделирования для зафиксированной реакции аппаратуры радиосистем ближнего действия на входные сигналы для ($P_{ср}$, $P_{лср}$, OS) в целях получения оценок УЗП, УВП и разброса координат срабатывания;

7) анализ результатов математического и полунатурного моделирования;

8) принятие решения о правильности функционирования аппаратуры в данных условиях по критерию правильности работы аппаратуры радиосистем ближнего действия фазодоплеровского типа.

Методика получения входных сигналов

В качестве входных сигналов в полунатурных экспериментах используют синтезированный сигнал, модулируемый в соответствии с законом для отраженного сигнала от типовой цели в текущих условиях пролета.

Общая теория расчета входных сигналов для систем ближней радиолокации (СБРЛ) от радиолокационных сцен, внешняя поверхность которых задана в виде полигональной модели, аппроксимирующей поверхность цели в виде совокупности плоских треугольных элементов (полигонов), рассмотрена в работах А.Б. Борзова, Р.П. Быстрова, А.В. Соколова и В.Б. Сучкова [2, 3]. Методика расчетов имеет максимальную степень достоверности по сравнению с данными экспериментов, поскольку позволяет наиболее точно формализовать геометрию поверхности цели и учесть электродинамические эффекты, имеющие место в условиях ближней зоны локации. Поскольку подобная модель сигнала РБД учитывает сложные волновые процессы, то необходимую точность можно достичь при количестве полигонов не менее $1,3 \cdot 10^5$, что, в свою очередь, приводит к большим временным затратам на вычисления. В связи с этим при проведении практических расчетов в настоящее время используют «быстрые» многоточечные модели, образованные из 10–20 «блестящих» точек, что позволяет значительно сократить время анализа. Методы получения таких многоточечных моделей радиолокационных характеристик целей изложены в работе С.В. Ягольниковца [4].

В качестве входных сигналов для ДПЧ при генерации входных сигналов по каждому из каналов РБД используют квадратурные компоненты (X , Y), полученные с использованием алгоритмов расчета отраженного сигнала на входе каждого канала РБД. При этом входные сигналы ДПЧ для каждого канала РБД представляют в виде

$$v(t) = x(t) \cos \omega_c t + jy(t) \sin \omega_c t,$$

где ω_c – частота несущей, условная промежуточная частота РБД, которая служит в качестве опорной.



Для расчета входных сигналов РБД траектория относительного движения цели задается в относительной системе координат (ОСК), начало которой, точка O_p , совмещается с центром координат ВСД $Sp: \{O_p, X_p, Y_p, Z_p\}$. Орт \vec{x} ОСК направлен по вектору относительной скорости и лежит в плоскости, образованной векторами скоростей \vec{V}_p, \vec{V}_c ВСД и цели, а также вектором относительной скорости $\vec{V}_{pc} = \vec{V}_p - \vec{V}_c$. Данные векторы образуют треугольник скоростей. Орт \vec{y} перпендикулярен плоскости треугольника скоростей, а орт z дополняет ОСК до правой плоскости. В качестве параметров, определяющих условия встречи, принимают:

- курсовой угол ε_p – угол между \vec{V}_p и \vec{V}_{pc} ;
- курсовой угол цели q – угол между вектором скорости цели \vec{V}_c и \vec{V}_{pc} ;
- угол крена цели $\lambda_{цв}$ – угол между плоскостью планера ВСД и плоскостью треугольника скоростей;
- ν_p – угол атаки ВСД.

Координата срабатывания РБД x_o в ОСК соответствует продольной координате x – условной точке цели и вектору ее промаха $\vec{\rho} = \{h, \Theta\}$, где h – величина промаха, Θ – угол по трубке промахов, отсчитываемый от оси z по часовой стрелке.

При расчете мощности входного сигнала РБД на траектории движения цели, заданной многоточечной моделью, используют массивы значений эффективной площади рассеивания и начальной фазы локальных отражателей, рассчитанные на этапе формирования многоточечной модели. В соответствии с представлением цели в виде набора локальных отражателей мощность отраженного сигнала от m -й точки многоточечной модели в ближней зоне локации определяют следующим образом:

$$P_{oc} = \frac{D_{pr} D_{per} DD_{RA}^2 (\Theta^m) DD_{TA}^2 (\Theta^m) ERS_m (\varphi_m) P_{per} \lambda^2}{(4\pi)^3 R_o^2 r_m^2},$$

где D_{pr} – коэффициент направленного действия (КНД) приемной антенны РБД, D_{per} – КНД передающей антенны РБД;

λ – длина волны, м;

P_{per} – мощность передатчика РБД, Вт;

R_o – наклонная дальность «передатчик РБД – m -я точка на цели», м;

$r_m = |\vec{r}_m|$ – расстояние от приемника РБД до m -го отражающего элемента цели, выделенного в математической модели, в момент времени t для текущего k -го канала приемника РБД, м;

DD_{RA} – текущее значение функции направленности приемной антенны РБД в направлении визирования m -го элемента цели (Θ^m);

DD_{TA} – текущее значение функции направленности передающей антенны РБД;

ERS_m – значение ЭОП каждого m -го элемента цели с направления угла приема φ_m ;

φ_m – угол между направлением на центр приемной антенны и осью цели для каждого m -го элемента цели (ось цели – вектор, характеризующий положение продольной оси фюзеляжа цели в выбранной СК).

Зная мощность входного сигнала РБД P_{oc} , вычисляем квадратурные составляющие сигнала от каждой m -й «блестящей» точки на входе приемника РБД (на выходе антенной системы) в текущий момент времени t_i :

$$\begin{pmatrix} X_i^m \\ Y_i^m \end{pmatrix} = U_i^m \frac{\cos}{\sin} \left(2\pi \frac{2Vr_i^m}{\lambda} t_i + \varphi_i^m \right), t_i = \max \rightarrow 0,$$

где $U_i^m = \sqrt{2ZaP_{oci}^m}$ – амплитуда отраженного сигнала от m -й «блестящей» точки B , в которых Za – сопротивление излучения антенны РБД;

$Vr_i^m = [(d_{i-1}^m - d_i^m) / \Delta t]$ – текущая радиальная скорость m -й «блестящей» точки цели, м/с;

t_i – текущий момент времени;

d_{i-1}^m, d_i^m – дальность до «блестящей» точки в текущий и предыдущий моменты времени, м;

$\varphi_i^m = (2\pi/\lambda)d_i^m$ – начальная фаза отраженного сигнала от элементарного отражателя («блестящей» точки);

Δt – шаг моделирования, с.

В каждый момент времени t_i вводят значения квадратурных составляющих отраженного сигнала от каждой m -й «блестящей» точки:



$$\begin{pmatrix} X(t_i) \\ Y(t_i) \end{pmatrix} = \sum_{m=1}^{N_{\text{БТ}}} \begin{pmatrix} X_i^m \\ Y_i^m \end{pmatrix}.$$

Находим амплитуду суммарного сигнала на входе каждого канала приемника РБД:

$$Am(t_i) = \sqrt{X(t_i)^2 + Y(t_i)^2}.$$

Фаза суммарного сигнала на входе каждого канала приемника в текущий момент времени t_i вычисляются по формуле

$$\Phi m(t_i) = \arctg \left(\frac{Y(t_i)}{X(t_i)} \right).$$

Выбор шага расчета считают наиболее ответственным моментом, поскольку он существенно влияет на адекватность входного сигнала. Для РБД, использующего принцип частотной селекции и фазовой пеленгации цели, шаг расчета выбирают на основании теоремы Котельникова, исходя из условия сохранения информации о частоте и фазе сигнала, и обычно $\Delta t = \lambda/kV_{\text{рц}}$, где $k = 4, 8, \dots$

Результатом расчета отраженного сигнала на входе приемника РБД в t_i момент времени является массив данных (входные сигналы для пролета на фиксированном промахе и фазе) (рис. 3):

Npoint – номер точки плана экспериментов;

Promax – промах в картинной плоскости, м;

FazaKci – угол по трубке промаха, град;

$V_{\text{отн}}$ – относительная скорость сближения, м/с;

t_i – текущее время моделирования, с;

Amp_k – суммарная амплитуда сигнала на входе k -го канала РБД, В;

$Faza_k$ – фаза суммарного сигнала на входе k -го канал РБД, рад;

X_{-k}, Y_{-k} – квадратурные составляющие сигнала (X, Y) на входе приемника РБД на момент времени t_i (k -го канала).

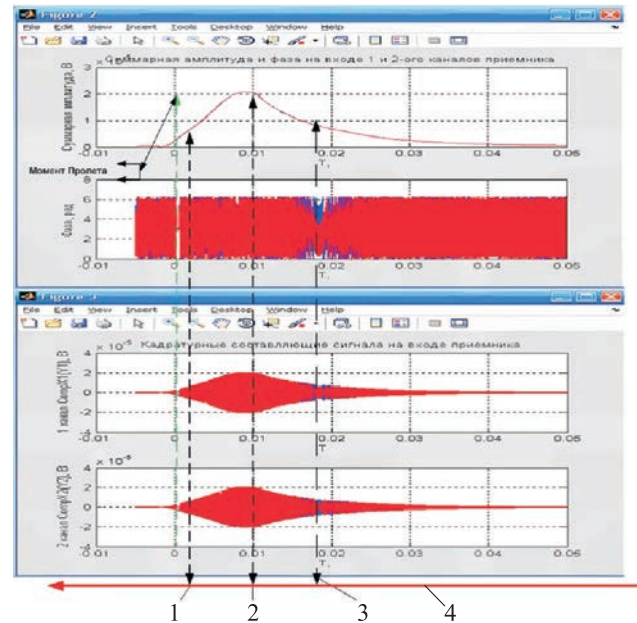


Рис. 3. Сигналы на входе приемника РБД и моменты формирования аппаратурой РБД сигналов срабатывания для конкретного пролета. Время моделирования T начинается от $T_n > 0$, $T_n = 0$ – момент пролета, $T_n < 0$ – время после пролета:

- 1 – момент формирования команды СраБРВ РБД;
- 2 – момент формирования команды СраБДК РБД;
- 3 – момент формирования команды СраБФК РБД;
- 4 – направление движения к цели

Контролируемые сигналы и параметры

Для проверки правильности функционирования РБД фазодоплеровского типа обычно отслеживают выходные параметры, одновременно являющиеся первоначальными данными для аттестации математической модели РБД (см. рис. 4). Для сигнальных каналов контролируют:

- сигналы на входе сигнальных каналов приемника (на входе УПЧ1- k);
- сигналы на выходе фильтров сосредоточенной селекции сигнальных каналов приемника – напряжения с выходов амплитудных детекторов в УПЧ приемного устройства ($U_{\text{ш1,2}}$) (после УПЧ1- k - j).

Для доплеровского канала (ДК) отслеживают:

- сигналы на выходе доплеровских фильтров с отстройкой f_1, f_2 кГц.

Для фазового пеленгатора проверяют сигналы с выходов фазовых детекторов основного и квадратурного каналов ($U_{\text{Фд1}}$ – синусоидальное напряжение, $U_{\text{Фд2}}$ – косинусоидальное напряжение).

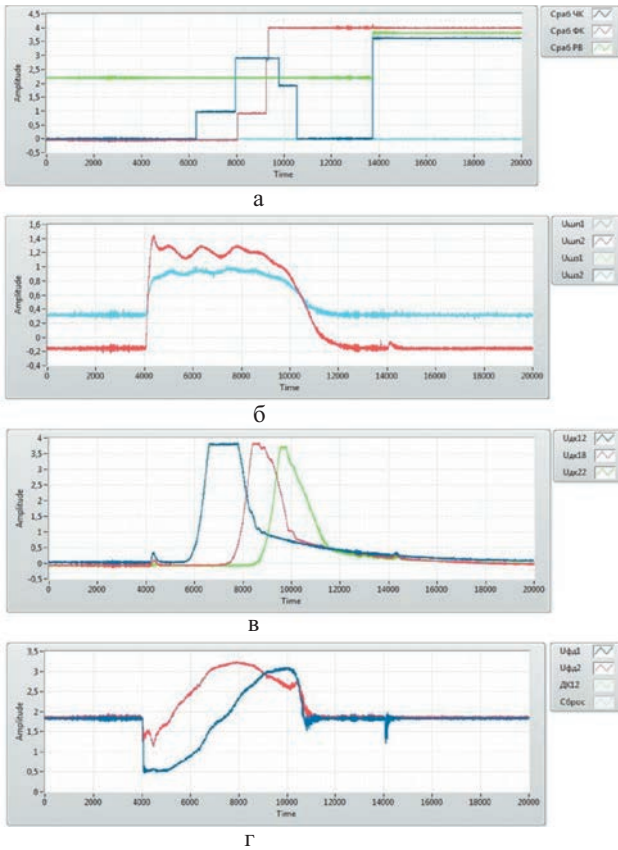


Рис. 4. Результаты работы РБД:

- а – импульсы СрабДК, СрабФК, СрабРБД;
- б – сигналы $U_{шп1}$, $U_{шп2}$;
- в – сигналы $U_{дк1}$, $U_{дк2}$, $U_{дк3}$;
- г – сигналы с выходов фазового пеленгатора

Для блока логической обработки сигналов уточняют:

- время срабатывания доплеровских (СрабДК) и фазовых (СрабФК) каналов;
- общее время срабатывания РБД (СрабРБД).

Типовой пример результатов работы 4-канального РБД фазодоплеровского типа по сигналу от математической точки показан на рис. 4, где приведены импульсы срабатывания по ДК, ФК и общего срабатывания, а также сигналы с выходов фильтров сосредоточенной селекции сигнальных каналов приемника – напряжения с выходов амплитудных детекторов в УПЧ приемного устройства ($U_{шп(3)1,2}$), с выходов доплеровских фильтров с отстройкой f_1, f_2, f_3 кГц (сигналы $U_{дк1}$, $U_{дк2}$, $U_{дк3}$) и

Антипов Виктор Юрьевич – начальник группы АО «МКБ «Факел», г. Химки Московской обл. Область научных интересов: проектирование радиоэлектронных устройств, моделирование и отработка систем наведения и управления.

Метельников Александр Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника бригады АО «МКБ «Факел», г. Химки Московской обл.

с выходов фазовых детекторов основного и квадратурного каналов ($U_{ФД1}$ – синусоидальное напряжение, $U_{ФД2}$ – косинусоидальное напряжение).

Вывод

Решить проблему минимизации числа натуральных экспериментов в полной комплектации ВСД при одновременном гарантированном выполнении требований ТТЗ можно при помощи увеличения числа полунатурных экспериментов, которые используют технологию сквозного полунатурного моделирования на базе КИМС, включающих в свой состав аппаратуру и математические модели необходимых систем с их последующей аттестацией по ограниченному количеству натуральных и полунатурных экспериментов. Разработанная и апробированная авторами технология стендового полунатурного имитационного моделирования фазодоплеровских РБД позволяет существенно снизить материальные и временные затраты при разработке ВСД и дать достоверный прогноз функционирования как системы в целом, так и ее подсистем практически для любых ситуаций применения.

Список литературы

1. Баран Е. Д. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы. М.: ДМК Пресс, 2009. 448 с.
2. Борзов А. Б., Быстров Р. П. Миллиметровая радиолокация: методы обнаружения наведения в условиях естественных и организованных помех. М.: Радиотехника, 2010. 374 с.
3. Борзов А. Б., Соколов А. В., Сучков В. Б. Цифровое моделирование входных сигналов систем ближней радиолокации от сложных радиолокационных сцен // Журнал радиоэлектроники. 2004. № 4. URL: <http://jre.splire.ru/jre/apr04/3/text.html> дата обращения 10.12.2015).
4. Ягольников С. В. Методы исследования радиолокационных характеристик объектов. М.: Радиотехника, 2012.

Поступила 28.10.15



Область научных интересов: оценка эффективности целенаправленных процессов, математическое моделирование сложных технических систем, ближняя радиолокация.

Токарев Евгений Григорьевич – начальник группы АО «МКБ «Факел», г. Химки Московской обл.

Область научных интересов: автоматизация испытаний, полунатурное моделирование работы радиоэлектронных устройств, ближняя радиолокация.

Semi-physical simulation method and technology for on-board phase-Doppler short-range radio systems

The article examines methods and technology behind semi-physical simulation of short-range radio systems, accounting for performance features and usage specifics of on-board phase-Doppler systems. An example of implementing a semi-physical test bench is shown, along with its structural and functional chart and a sample of simulation results for one of the short-range radio systems.

Keywords: integrated simulation, modelling test bench, short-range radio systems, reflected signal computation, short-range radiolocation.

Antipov Viktor Yuryevich – Group Leader, Joint stock company “Academician P. D. Grushin Mechanical Engineering Design Bureau “Fakel”, Khimki, Moscow region.

Research interests: radioelectronic device design, and simulation and debugging of guidance and control systems.

Metelnikov Aleksandr Yuryevich – Candidate of Engineering Sciences, Senior Staff Scientist, Deputy Team Leader, Joint stock company “Academician P. D. Grushin Mechanical Engineering Design Bureau “Fakel”, Khimki, Moscow region.

Research interests: efficiency estimation of goal-directed processes, mathematical modelling of complex engineering systems, and short-range radiolocation.

Tokarev Evgeniy Grigoryevich – Group Leader, Joint stock company “Academician P.D.Grushin Mechanical Engineering Design Bureau “Fakel”, Khimki, Moscow region.

Research interests: test automation, semi-physical simulation of operation of radioelectronic devices, and short-range radiolocation.