

### **Особенности аппаратно-программного комплекса экспериментальной отработки как активного имитатора внешней обстановки для дозорного радиолокатора**

Т.А. Лепёхина, В.И. Николаев, М.А. Семенов, А.М. Тарасенко

*АО «Концерн «Вега»: 121170, Москва, Кутузовский проспект, д.34; tatonika@inbox.ru.*

*В докладе описаны возможности разработанного комплекса экспериментальной отработки по формированию испытательных воздействий с целью подтверждения заданных характеристик дозорного радиолокатора в режимах мониторинга воздушного пространства и картографирования земной поверхности. Отмечены отличительные особенности комплекса по сравнению с устройствами, выполняющими аналогичные функции. Приведены результаты эксперимента по имитации группы движущихся целей.*

*The article describes the capabilities of the presented Experimental Tryout Complex to generate test impacts on the warning radar for its characteristic confirmation in the modes of air situation monitoring and ground mapping. The features of the complex in comparison with its functional analogs are noted. Some experimental results of moving target simulation are presented.*

Многообразие функциональных задач, возлагаемых на современные АК РЛДН с многорежимными активными РЛС [1], требует применения новых перспективных схемотехнических и программно-алгоритмических решений.

Системный подход к разработке многорежимной БРЛС требует создания аппаратно-программных средств для проверки и подтверждения характеристик РЛС и её составных частей на различных этапах жизненного цикла [2]. При этом необходимо учитывать, что характеристиками авиационного комплекса являются не только физические показатели качества активного радиолокатора (чувствительность, разрешающая способность по дальности и скорости), но и способность к одновременному сопровождению множества объектов, отработке сценариев внешней обстановки. Гарантировать выполнение авиационным комплексом требований по этим характеристикам можно только при условии углублённой проработки методик наземных испытаний и отладки, обеспеченных соответствующими аппаратно-программными испытательными средствами для формирования тестовых воздействий по заданным сценариям, обработки и анализа выходной информации, формируемой авиационным комплексом. Эти испытательные средства должны использоваться как на ранних этапах проектирования, наземной отработки, так и во время эксплуатации АК РЛДН для предполётных проверок, тренировки персонала, а также для отработки модернизируемого программного обеспечения.

Аппаратно-программный комплекс экспериментальной отработки (АПКЭО) создан как многофункциональное средство для тестирования, отладки, наземных бесполётных испытаний существующих и перспективных АК РЛДН и их основных составных частей, в первую очередь – активной радиолокационной станции. АПКЭО содержит комплект аналого-цифрового оборудования для записи, воспроизведения и ретрансляции с цифровой обработкой высокочастотных сигналов с шириной спектра до 1 ГГц [3]. Обмен сигналами на несущей частоте с испытуемым радиолокатором или его фрагментом может осуществляться через антенны, входящие в комплект АПКЭО, или по коаксиальным кабелям.

При организации бесполётных испытаний АПКЭО работает во взаимодействии с вычислительным комплексом, осуществляющим имитационное моделирование внешних обстановок и сценариев. Данные имитационного моделирования

используются АПКЭО для формирования испытательных воздействий на радиолокатор на несущих частотах.

Принцип активной имитации радиолокационных целей, заключающийся в ретрансляции зондирующего сигнала радиолокатора приёмо-передающим устройством с возможностью регулировки амплитуды, задержки и отстройки сигнала по частоте, применяется как в различных имитаторах ложных целей и активных помех [4, 5], так и в специализированных испытательных ретрансляторах.

Отличия АПКЭО от большинства имитаторов, представленных в доступных научно-технических публикациях, обусловлены различием задач, для которых строятся модели имитируемых объектов. Имитаторы ложных целей и активных помех ретранслируют принимаемый зондирующий сигнал с внесением дополнительных (к возникающим естественным образом из-за взаимного движения носителей радиолокатора и имитатора) задержек и доплеровских сдвигов частоты, изменяемых программно в соответствии с моделями движения ложных целей относительно самого имитатора. Эти модели движения, как правило, являются типовыми: равномерное, равноускоренное, круговое. Закон преобразования зондирующего сигнала в суперпозицию отражений обрабатывается программой с привязкой только к текущему времени, но не к моментам приёма зондирующих импульсов. Все имитируемые цели наблюдаются активным радиолокатором на том же азимуте, где находится носитель имитатора, но имеют другие кажущиеся дальности и радиальные скорости.

Специализированные испытательные ретрансляторы выполняют аналогичные функции, но их задачей при этом является активная имитация радиолокационных целей с заданными параметрами (ЭПР, дальность, радиальная скорость) и известными законами их изменения в качестве входного воздействия для проверки точности измерения этих характеристик системой первичного радиолокатора.

Задачей АПКЭО является имитация внешней обстановки для радиолокационного комплекса, оснащённого компьютерной системой вторичной обработки и анализа собираемой радиолокационной информации, при его бесполётных испытаниях. Физические и математические принципы преобразования принятого зондирующего импульса в суперпозицию имитированных отражений те же, что и в имитаторах ложных целей. В отличие от имитаторов, устанавливаемых на движущихся объектах, обмен сигналами между АПКЭО и испытуемым радиолокатором поддерживается непрерывно, т.к. оба неподвижны и направлены антеннами друг на друга. Модели движения носителя радиолокатора и окружающих его объектов являются основной информацией в постановке задачи бесполётных испытаний радиолокатора, они строятся соответствующими вычислительными средствами имитационного моделирования и приводятся к имитационной модели движения множества дискретных объектов в радиолокационных координатах. Когда при обработке сценария бесполётных испытаний на радиолокаторе запускается сеанс съёмки, при котором его антенна неподвижна, но информация о её положении заменяется данными моделирования кругового движения, в это же время на АПКЭО запускается модель кругового сканирования окружающего пространства радиолокатором, и в соответствии с изменением азимута антенны для имитатора отражённых сигналов полностью обновляется набор информации о параметрах преобразования [3]. Одновременно (для каждого отдельно взятого зондирующего импульса) АПКЭО может формировать до четырёх имитированных отражений, соответствующих объектам с различными ЭПР, дальностями и радиальными скоростями, находящимся в пределах диаграммы направленности антенны по азимуту. Всего моделируется несколько сотен объектов во всём окружающем пространстве, и АПКЭО осуществляет их активную имитацию для радиолокатора, посредством ретрансляции с преобразованием зондирующих сигналов,

в точном соответствии с заранее построенными моделями движения для данного сценария испытаний.

Особенностями задач, решаемых АПКЭО и специализированными имитаторами, обусловлено и различие применяемой схмотехнической базы. В частности, ретранслированные сигналы, формируемые имитаторами ложных целей, по амплитуде сравнимы с реальным отражённым сигналом от защищаемого летательного аппарата (судна, машины) или незначительно его превышают. Диапазон уровней ретранслированных сигналов находится в пределах 30 дБ, что обуславливает возможность оперирования данными небольшой разрядности (например, 8 разрядов в специализированном сигнальном процессоре 1879VM3 [4]).

Для АПКЭО необходимость одновременной имитации объектов с различными ЭПР, расстояния до которых могут отличаться во много раз, влечёт за собой требования по расширению динамического диапазона. Полный динамический диапазон  $D$  формируемых АПКЭО сигналов, определяемый разрядностью ЦАП, связан с диапазонами изменений уровней испытательных сигналов по формуле  $D=D_r+D_e+D_q$ , где, соответственно,  $D_r=40\lg(R_{\max}/R_{\min})$  [дБ] – диапазон изменений уровней имитируемых отражённых сигналов, обусловленный различием расстояний до моделируемых целей,  $D_e$  [дБ] – диапазон имитируемых ЭПР,  $D_q$  [дБ] – минимальный уровень качественно воспроизводимого сигнала, обусловленный разрядностью преобразования. За 0 дБ принимается амплитуда сигнала, равная цене младшего разряда ЦАП. Для предварительной оценки предлагается принять  $D_q=12$  дБ, что соответствует амплитуде минимального сигнала 2 разряда ЦАП.

В нашем случае для требуемого диапазона расстояний  $(R_{\max}/R_{\min})=30$ , соответственно, получим  $D_r\sim 59$  дБ.

Генератор сигналов, построенный на базе 16-разрядного ЦАП, формирует сигналы в динамическом диапазоне  $D=20\lg(2^{15})\sim 90$  дБ. Таким образом,  $D_e=90-59-12=19$  дБ – запас динамического диапазона для варьирования ЭПР моделируемых объектов.

Особенностью большинства вновь создаваемых авиационных РЛС является их многорежимность. В современных и перспективных АК РЛДН, кроме «классического» дозорного режима, предусмотрены режимы картографирования земной поверхности с синтезированием апертуры. В отличие от описанного выше метода формирования испытательных воздействий путём имитации группы движущихся точек, для проверки этих режимов требуется имитация фоно-целевой обстановки, соответствующей снимаемому участку местности. В общем случае, она может содержать протяжённые и поверхностно-распределённые цели. Построить полноценную модель такого объекта, выполняя поточечное преобразование зондирующего сигнала, как это релизовано в большинстве существующих имитаторов, трудно из-за ограниченной производительности современных сигнальных процессоров.

В комплексе экспериментальной отработки предусмотрена возможность формирования испытательных воздействий для проверок радиолокатора в режимах с синтезированной апертурой путём имитации отражённых сигналов, соответствующих заранее построенной модели фоно-целевой обстановки и движения носителя. В отличие от имитаторов, выполняющих моделирование группы «блестящих точек» [4, 5], в АПКЭО формирование непрерывной суперпозиции отражений каждого зондирующего импульса от всей снимаемой поверхности выполняется путём вычисления свёртки его комплексной огибающей с заранее рассчитанной импульсной характеристикой. Семейство таких импульсных характеристик, индивидуальных для каждого импульса в сеансе, рассчитывается до начала испытаний в соответствии с имеющейся моделью фоно-целевой обстановки с помощью операции, обратной сжатию по азимуту [6]. Возможность применения такого способа имитации отражённых сигналов обусловлена

и тем, что, в отличие от дозорных режимов, при которых одновременно наблюдаемые цели могут иметь различные радиальные скорости и, соответственно, попадать в разные доплеровские каналы радиолокатора, в режимах картографирования относительные радиальные скорости элементов снимаемого участка поверхности настолько малы, что смещение отражённого сигнала по частоте можно не учитывать [7]. Вычисление свёртки выполняется либо в режиме реального времени, что делает АПКЭО более универсальным и позволяет использовать одни и те же предварительно подготовленные данные при зондирующих сигналах радиолокатора с различной модуляцией и иными параметрами, либо заблаговременно в соответствии с расчётной или записанной комплексной огибающей зондирующего сигнала.

Для предварительной оценки возможности использования АПКЭО для решения описанных выше задач и выявления возможных проблем аппаратной стыковки был проведён эксперимент, при котором АПКЭО выполнял преобразование зондирующего сигнала дозорного радиолокатора в имитированные отражённые сигналы от группы движущихся точечных целей с задержками относительно момента приёма соответственно 150, 180, 200 и 260 мкс. Зондирующий сигнал с выхода модулятора радиолокатора подавался на вход АПКЭО по коаксиальному кабелю, а ретранслированный сигнал с выхода АПКЭО – на вход приёмно-передающего модуля через антенную насадку. Схема подключения приведена на рис.1.

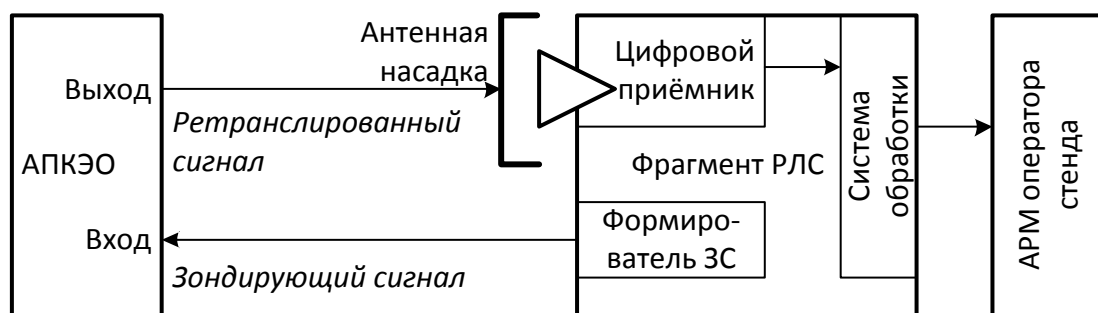


Рис. 1. Схема подключения АПКЭО к фрагменту радиолокационной станции.

Окно программы отображения внешней обстановки, получаемой с выхода цифровой системы обработки входного сигнала радиолокатора, приведено на рис. 2. При проведении эксперимента модель вращения антенны не использовалась, поэтому на диаграмме кругового обзора моделируемые точечные цели отображены в виде концентрических окружностей, соответствующих дальностям 23, 27, 30 и 39 км.



Рис. 2. Окно индикации наблюдаемой внешней обстановки в координатах азимут-дальность (фрагмент).

Таким образом, подтверждена возможность АПКЭО имитировать одновременно до 4 движущихся целей, характеристики которых измерялись и отображались радиолокационной станцией в соответствии с заданными параметрами моделей.

АПКЭО оборудован переносчиками, позволяющими расширить диапазон рабочих частот до 40 ГГц, используя один и тот же приёмопередатчик. Работа в различных диапазонах частот обеспечивается благодаря использованию сменных антенн.

Особенностью АПКЭО является возможность имитировать фоно-целевые обстановки для дозорного радиолокатора, работающего в режимах РСА, как при заранее подготовленной модели отражённого сигнала, так и с формированием имитированного отражённого сигнала в режиме реального времени. Такой принцип может быть в дальнейшем использован и при летных испытаниях, когда АПКЭО будет выполнять функции наземного испытательного средства.

### **Литература**

1. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. М.: Радиотехника, 2014. 528 с.
2. Кудрявцева Т.А., Митько С.В., Лепёхина Т.А. Аппаратно-программная реализация имитатора отраженных сигналов для испытаний авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Успехи современной электроники – 2015. №5. С.138.
3. Лепёхина Т.А., Митько С.В., Недро Л.В., Николаев В.И. Формирование воздействий на несущих частотах для испытаний радиотехнических систем аппаратно-программными средствами мобильного измерительно-испытательного комплекса // XI Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». Сборник трудов. М.: 2017. С. 336-340.
4. Боков А.С., Важенин В.Г., Воробьев Л.П. и др. Имитация радиолокационного сигнала, отраженного от движущейся цели // Вестник УГТУ–УПИ. Сер. радиотехн., Теория и практика радиолокации земной поверхности. 2005. № 19 (71). 235 с.
5. Галашин М.Е., Лисовская Т.В., Кочеров А.Н., Болдырев Н.А. Формирование изображения протяжённой ложной цели на экране радиолокаторов с помощью устройства формирования сигнала // Сб. научн. трудов ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга, т. 5, М.:, 2011. С. 233–253.
6. Лепёхина Т.А., Николаев В.И. Алгоритм цифровой имитации траекторных сигналов для испытаний радиолокаторов с синтезированной апертурой высокого разрешения // 15-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2013». М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова, 2013. С. 418-422.
7. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д. Учебное пособие для вузов. М.: Сов. радио.1970. 560 с.