

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИРУЮЩИХ  
УСТРОЙСТВ ТРЕНАЖЕРНЫХ СРЕДСТВ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ РЛС  
С АМПЛИТУДНЫМ МГНОВЕННЫМ СРАВНЕНИЕМ СИГНАЛОВ**

Казарин А. В.

*Военная академия Республики Беларусь,  
Минск, Беларусь, a.kazaryn@rambler.ru*

**Аннотация.** Проведен анализ путей повышения производительности моделирующих устройств тренажерных средств в многофункциональных когерентных радиолокационных станциях, использующих метод амплитудного мгновенного сравнения сигналов с целью увеличения интенсивности тренировок операторов и обеспечения адекватности моделируемой обстановки реальной. Рассмотрены возможные варианты и средства их технической реализации, проведена сравнительная оценка уровня сложности.

Многофункциональные радиолокационные станции (МФ РЛС) являются основными радиотехническими средствами современных зенитных ракетных комплексов (ЗРК). Они выполняют функции обнаружения, сопровождения целей, наведения зенитных управляемых ракет, а также управления всеми средствами ЗРК. В МФ РЛС размещаются боевые расчеты ЗРК. Для подготовки их операторов, как правило, используются соответствующие тренажерные средства (ТС) [1]. Моделирующее устройство тренажерного средства является многоканальным. Оно формирует радиосигналы, имитирующие объекты локации и помехи. Современные способы ведения войн с использованием массированных ракетно-авиационных ударов и беспилотных летательных аппаратов предъявляют повышенные требования к моделирующим устройствам ТС, которые должны обеспечить подготовку операторов в условиях наличия большого количества объектов локации.

В когерентных РЛС используются относительно длительные по времени зондирующие и, следовательно, отраженные сигналы. Информация о величине и направлении отклонения объекта локации относительно равносигнального направления содержится в амплитудах и фазах радиосигналов промежуточной частоты разностных каналов относительно суммарного [2, с. 410]. Поэтому в состав имитатора отраженных сигналов входят регулируемые усилители, управляемые кодами амплитуд сигналов разностных и суммарного каналов, а также фазовращатели, управляемые знаковыми разрядами кодов амплитуд. Коды амплитуд формируются синтезатором диаграммы направленности на основе информации о положении объекта локации и равносигнального направления. Управление положением радиоимпульсов по времени выполняется синтезатором задержки и импульсным модулятором на основании информации о дальности объекта локации. Управление частотой формируемых радиосигналов

осуществляется синтезатором частоты Доплера и смесителями на основании информации о радиальной скорости.

Таким образом, структура каждого канала имитатора отраженных сигналов достаточно сложна, поскольку относительно сложную структуру имеют и приемные устройства, реализующие метод амплитудного мгновенного сравнения сигналов [3, с. 266]. Кроме того, цифро-аналоговые устройства (усилители и фазовращатели) в процессе эксплуатации требуют периодической подстройки параметров. Поэтому увеличение числа имитируемых объектов локации путем наращивания количества каналов моделирующего устройства не всегда целесообразно из-за существенного роста аппаратных затрат и усложнения процесса технического обслуживания.

Если использование принципа аппаратурной избыточности для усложнения воздушной обстановки в ТС РЛС, находящихся в эксплуатации, сложно реализуемо, то следует оценить возможности использования принципов временной, информационной и алгоритмической избыточности [4, с. 85]. Моделирующее устройство является источником радиосигналов, поступающих на измерители координат. В качестве рабочих мест используются реальные рабочие места операторов. Измерители координат, вычислительные средства и устройства управления режимами работы являются штатными устройствами РЛС. Взаимодействие основных устройств РЛС обеспечивается каналами передачи данных. Именно через каналы передачи данных поступает управляющая информация, источниками которой являются вычислительные средства. Управляя этой информацией желаемым образом можно управлять работой каждого канала моделирующего устройства с целью увеличения интенсивности формирования отраженных сигналов.

То есть повышение производительности моделирующего устройства может быть обеспечено модернизацией существующих вычислительных средств или использованием дополнительных, которые сопрягаются с каналами передачи данных. Структура таких каналов является стандартизированной [4, с. 319–333], что упрощает техническую реализацию средств сопряжения. Рост производительности моделирующего устройства эквивалентен увеличению количества каналов имитации отраженных сигналов. Это обусловлено тем, что обнаружение воздушных объектов и наведение следящих измерителей, как правило, осуществляется последовательно. Кроме того, вход объектов локации в зону обнаружения РЛС в реальных условиях чаще всего выполняется поочередно, за исключением ситуаций, когда цель является групповой.

Одним из наиболее просто реализуемых путей увеличения производительности моделирующего устройства является повышение количества имитируемых во время тренировки воздушных объектов за счет сокращения цикла работы операторов по каждому из них. Типовой цикл и при автономной работе МФ РЛС в отсутствии данных целеуказания от пункта управления, и при централизованном управлении содержит этапы обнаружения воздушного объекта, наведения следящих измерителей, автоматического сопровождения и наведения средств поражения. Сокращение цикла работы операторов может быть достигнуто различными способами. Например, для уменьшения продолжительности

всей совокупности указанных этапов работы можно увеличить скорость движения имитируемых объектов локации, а также средств их поражения в допустимых пределах, или уменьшить дальность до начальной точки имитируемой траектории движения. Конечно, при этом нецелесообразно существенно отклоняться от фактически возможных значений этих параметров во избежание потери адекватности условий тренировки реальной воздушной обстановке.

Другой способ уменьшения цикла работы операторов может быть основан на исключении ряда его этапов, которые являются наименее сложными и соответственно менее важными для подготовки. В частности, этапы обнаружения воздушных объектов и наведения следящих измерителей требуют большего внимания, скорости и точности движений. Они определяют время реакции ЗРК и, в конечном счете, его пропускную способность. Этапы автоматического сопровождения требуют меньше усилий. Исключением является сопровождение в условиях интенсивных активных помех, когда требуется производить повторное наведение следящих измерителей из-за срыва автоматического сопровождения. Этап поражения при условии устойчивого сопровождения объектов локации и использовании средств поражения наводимых без участия операторов и нечувствительных к помехам также не представляет большой сложности.

Поэтому после перехода к одному из вышеуказанных наименее значимых для подготовки операторов этапов целесообразно прекратить формирование сигналов, имитирующих объект локации, а освободившийся канал моделирующего устройства использовать для имитации нового объекта. То есть автоматически должен осуществляться переход к начальному этапу, и чем раньше он будет выполнен, тем больше возрастет производительность моделирующего устройства тренажера и соответственно повысится интенсивность тренировки операторов при прочих равных условиях. Повышение интенсивности работы может быть достигнуто и при проведении специализированных тренировок, когда отрабатывается работа операторов на одном или двух этапах из всего цикла работы. Как и в предыдущих случаях, технически это реализуемо путем использования обратных связей между устройством управления режимами работы МФ РЛС и тренажером. Физически эти связи обеспечиваются имеющимися каналами передачи данных. А желаемая логика работы может быть реализована модернизацией программного обеспечения входящих в состав этих устройств вычислительных средств.

Другим путем повышения производительности моделирующего устройства может быть реализация поочередного формирования отраженных сигналов от нескольких воздушных объектов каждым каналом. В когерентных РЛС такие сигналы представляют собой пачки радиоимпульсов. Их параметры в общем случае могут изменяться после формирования каждой пачки. Поэтому входящие в состав каждого канала моделирующего устройства синтезаторы задержки, частоты Доплера и диаграммы направленности должны иметь высокое быстродействие. Для этого целесообразно использовать цифровые элементы, а управляющую информацию формировать с помощью вычислительных средств.

Величина периода обновления, а, следовательно, и степень повышения производительности моделирующего устройства будет определяться характером изменения параметров имитируемых траекторий. Очевидно, что при быстроизменяющихся параметрах период обновления должен быть уменьшен. Если параметры траекторий неизменны или изменяются несущественно с течением времени, то период обновления может быть увеличен, и соответственно повышено число имитируемых объектов локации. То есть в принципе количество имитируемых траекторий может быть переменным. Технически наиболее просто реализуемо моделирующее устройство с постоянным периодом обновления параметров формируемых сигналов. Для этого достаточно обеспечить периодическую подачу через имеющиеся каналы передачи данных на его функциональные узлы предварительно рассчитанные коды дальности, радиальной скорости и угловых координат. Для технической реализации моделирующего устройства с переменным периодом обновления параметров сигналов необходимо достаточно высокопроизводительное вычислительное средство, а также пульт для управления его работой. То есть должна быть реализована легко управляемая система задания исходных данных для тренировки, обеспечивающая получение операторами необходимых навыков.

Третий возможный путь повышения производительности моделирующего устройства тренажерного средства, может быть основан на согласовании формирования сигналов объекта локации с условиями его обнаружения, которые связаны с режимами работы РЛС и приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Условия обнаружения отраженных сигналов и режимы работы РЛС

Условия обнаружения	Режимы работы
Совпадение угловых координат объекта локации и диаграммы направленности	Обнаружение, наведение следящих измерителей, автоматическое сопровождение
Несовпадение времени задержки отраженных радиоимпульсов с периодом излучения зондирующих (отсутствие «слепых» дальностей)	Обнаружение, наведение следящих измерителей
Несовпадение спектров отраженных и зондирующих сигналов (отсутствие «слепых» скоростей)	Обнаружение, наведение следящих измерителей
Превышение отраженным сигналом порога обнаружения	Обнаружение
Наличие прямой радиовидимости	Обнаружение

Очевидно, что формировать сигнал имитируемого объекта локации целесообразно, если он по указанным причинам не поступает в приемные устройства МФ РЛС, не отображается на средствах индикации и соответственно не обеспечивает возможность работы операторов. Следовательно, необходимо имитировать отраженный сигнал только в тех случаях, когда могут работать основные устройства РЛС, а, следовательно, и операторы.

На этапах автоматического сопровождения, когда выполняется сканирование ограниченной области пространства, а также принимаются меры для исключения явлений «слепых» скоростей и дальностей это не позволит существенно увеличить производительность моделирующего устройства. Но в режимах обнаружения и наведения следящих измерителей при автономной работе МФ РЛС, как правило, выполняется поочередный просмотр нескольких десятков и даже сотен угловых положений. А время задержки и частота Доплера отраженных сигналов могут совпадать с периодом повторения и спектром зондирующего сигнала соответственно. Поэтому в этих режимах можно существенно увеличить количество имитируемых воздушных объектов при ограниченном количестве каналов моделирующего устройства, и, следовательно, повысить интенсивность тренировки операторов.

Рассмотренные пути повышения производительности моделирующих устройств тренажерных средств, возможные варианты, а также средства их реализации представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Пути и средства повышения производительности моделирующих устройств

Пути повышения производительности	Варианты реализации	Средства реализации	Уровень сложности
Уменьшение времени цикла работы	Подбор параметров траекторий	Средства управления исходными данными	Невысокий
	Исключение простых этапов тренировки	Средства управления чередованием этапов	Невысокий
Поочередное формирование сигналов с различными параметрами каждым каналом	Постоянный период обновления	Средства сопряжения с каналами передачи данных	Средний
	Переменный период обновления	Вычислительные средства	Высокий
Согласование формирования сигналов с условиями обнаружения	Согласование с положением диаграммы направленности	Вычислительные средства	Средний
	Согласование со всеми условиями обнаружения	Вычислительные средства	Высокий

Невысокий уровень сложности вариантов технической реализации того или иного пути повышения производительности моделирующего устройства означает, что дополнительные устройства могут отсутствовать. Управление режимами работы МФ РЛС и тренажерным средством может быть выполнено и вручную. Конечно, для исключения необходимости выполнения операторами дополнительных действий по заданию требуемых режимов работы целесообразно автоматизировать процесс управления исходными данными и чередованием этапов работы. Требуемые параметры траекторий и логика управления

режимами работы могут быть заданы с помощью программируемых запоминающих устройств и средств сопряжения с существующими каналами передачи данных.

Аналогичные устройства могут обеспечить поочередное формирование сигналов нескольких объектов локации каждым каналом при постоянном времени обновления. Для реализации переменного времени обновления необходимо использовать либо дополнительные вычислительные средства с относительно высокой производительностью, либо модернизировать рабочие программы имеющихся. Согласование формирования сигналов, имитирующих воздушные объекты с положением диаграммы направленности в существующих ТС практически реализовано, причем для этого используются вычислительные средства невысокой производительности. Для повышения интенсивности тренировок необходимо лишь обеспечить автоматический переход к формированию каналом имитатора сигнала другого объекта локации, если угловые координаты текущего не совпадают с координатами диаграммы направленности.

Учет наличия явлений «слепых» скоростей и дальностей, оценка уровня отраженного сигнала в зависимости от эффективной отражающей поверхности и дальности объекта локации, дальности прямой видимости, высоты полета и рельефа местности требует перебора множества различных вариантов. Для программной реализации алгоритмов сортировки и поиска ввиду их сложной структуры требуются высокопроизводительные вычислительные средства [5, с. 95]. Поэтому уровень сложности управления моделирующим устройством ТС с учетом всех условий обнаружения следует считать относительно высоким.

При среднем уровне сложности могут быть использованы имеющиеся вычислительные средства. Достаточно внести определенные изменения в их рабочие программы. Содержащие их запоминающие устройства достаточно просто могут быть модернизированы с целью изменения существующих или записи дополнительных программ управления имитатором отраженных сигналов. При высоком уровне сложности требуется использовать дополнительные вычислительные средства, поскольку повышение мощности существующих потребует замены не только командной и оперативной памяти, но и основных устройств процессора. В качестве таких дополнительных вычислительных устройств могут быть использованы ноутбуки, имеющие средства сопряжения с каналами передачи данных.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы.

Повышение производительности моделирующего устройства тренажера в многофункциональных когерентных РЛС, использующих метод амплитудного мгновенного сравнения сигналов для измерения угловых координат, путем увеличения количества каналов имитации отраженных сигналов нецелесообразно, так как ведет к росту аппаратных затрат и усложнению процесса эксплуатации.

Наиболее приемлемыми путями повышения производительности моделирующих устройств тренажерных средств следует считать:

- уменьшение времени цикла работы операторов;

– поочередное формирование сигналов нескольких объектов локации каждым каналом моделирующего устройства;

– согласование процесса имитации отраженных сигналов с условиями их обнаружения.

В качестве основных средств повышения производительности моделирующего устройства могут быть использованы:

– штатные вычислительные средства с модернизированным программным обеспечением;

– дополнительные высокопроизводительные вычислительные средства, сопрягаемые со штатными каналами передачи данных.

При выборе путей повышения производительности моделирующих устройств и вариантов их технической реализации наиболее значимыми следует считать такие факторы, как уровень сложности и возможность использования во всех режимах работы РЛС. С учетом этих факторов наиболее предпочтительным является вариант, который предполагает поочередное формирование нескольких сигналов каждым каналом моделирующего устройства. Причем период обновления параметров этих сигналов должен быть постоянным, а формирование выполняться только при совпадении положения объекта локации с положением диаграммы направленности.

### **Литература**

1. Разработка требований и облика унифицированного тренажера для ЗПРК «Тунгуска»: отчет о НИР / Воен. акад. Респ. Беларусь; рук. темы А. И. Федоров. – Минск, 2006. – 134 с.

2. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Часть 1. Основы радиолокации / А. Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1988 – 483 с.

3. Коростелев, А. А. Теоретические основы радиолокации / А. А. Коростелев, И. Ф. Ключев, Ю. А. Мельник; под ред. В. Е. Дулевича. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Сов. Радио, 1978. – 608 с.

4. Каган, Б. М. Основы эксплуатации ЭВМ / Б. М. Каган, И. Б. Мкртумян; под ред. Б. М. Кагана. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.

5. Гудман, С. Введение в разработку и анализ алгоритмов / С. Гудман, С. Хидитниemi; пер. с англ. под ред. В. В. Мартынюка. – М.: Мир, 1981. – 336 с.