

## АНАЛИЗ ОПЫТА ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.А. Грызо<sup>1</sup>, Д.А. Гриб<sup>1</sup>, С.П. Лещенко<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,

<sup>2</sup>Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков)

*Анализируется опыт построения комплексов имитации сигнально-помеховой обстановки. Формулируются основные понятия, требования к построению таких комплексов, вопросы, требующие обсуждения.*

### *имитационные модели, тренажно-имитационная аппаратура*

**Постановка задачи.** В РТВ ПВО накоплен значительный опыт по подготовке лиц боевого расчета, имеются рекомендации по составу отрабатываемых задач, формам и методам подготовки лиц боевого расчета, методики проведения тренировок. Вопросы «чему» и «как» учить всем понятны и не требуют пояснений. Вместе с тем значительно расширились возможности технических средств обучения, а именно, тренажно-имитационной аппаратуры. Ее использование позволяет проводить обучение без полного включения РЛС и АСУ, что позволяет значительно экономить ресурс образца вооружения и в общем итоге снизить затраты на эксплуатацию.

В последнее время в промышленно развитых странах резко ускорились темпы развития радиолокационной техники, выполняющей функции обзора воздушного пространства. Это обусловлено, во-первых, практически полной выработкой ресурса и моральным старением РЛС «старого» парка (разработка приходится на период 70-х годов), во-вторых, свой отпечаток наложил целый ряд знаковых событий (11 сентября и т.д.) [1].

Все разрабатываемые и принимаемые на вооружение РЛС в обязательном порядке оснащаются комплексом тренажно-имитационной аппаратуры, выполняющей функции комплексной математической модели процесса функционирования образца.

Качественное и количественное моделирование является совершенно необходимым атрибутом всех этапов жизненного цикла средств, комплексов и систем – первоначального определения облика, проектирования и разработки, автономной и комплексной настройки, испытаний и эксплуатации. Многолетняя практика убедила, что чем более обстоятельно и квалифицированно выполнена работа по моделированию на каждом из этих этапов, тем больше шансов на успех в достижении высоких характеристик создаваемой системы.

**Цель статьи.** Выделить некоторые общие тенденции, сформулировать основные понятия и объективные требования к современным имитационным комплексам:

**Изложение основного материала.** Понятия «модель», «моделирование» чрезвычайно многогранны, объединяют большой комплекс вопросов. Применительно к области разработки и создания сложных информационных управляющих систем они включают:

- разработку физических и математических моделей входных данных (сигналов, входных воздействий, внешней среды, возмущений, помех и т.д.) и инструментов физической и программно-алгоритмической имитации этих входных данных;

- разработку моделей частных процессов (обнаружения целей радиолокационными средствами наблюдения, определения координат и параметров движения целей, селекции и распознавания целей, наведения перехватчика, поражения цели и т.д.);

- разработку полной модели функционально законченного информационного или огневого средства системы (РЛС, космического аппарата обнаружения, стрельбового комплекса и т.п.) с имитацией всех его функций и частных процессов обработки входных данных и управления;

- разработку комплексной модели системы, включающей модели входящих в нее средств и имитирующей их функциональное взаимодействие в максимально представленном множестве внешних ситуаций целевой и помеховой обстановки;

- разработку имитационных контуров встроенных в действующие средства системы программ контроля качества функционирования средств, оценки их текущих возможностей и характеристик в условиях реальной внешней обстановки и адаптации к ее изменениям;

- разработку методов калибровки и проверки адекватности частных и комплексных моделей, обеспечивающих высокую степень уверенности в достоверности и количественной состоятельности получаемых с помощью частных и комплексных моделей оценок характеристик и боевых возможностей средств и систем.

Все указанные задачи в принципе могут быть решены различными методами моделирования.

Исторически ранним и до сих пор одним из наиболее распространенных является метод функциональных математических моделей. Он сводится к теоретическому описанию исследуемого процесса математическим соотношением, проверке выполнения логических условий действия процесса (начало, конец, прерывание) и реализации вычислительной процедуры. Этот метод остается главным в тех случаях, когда прямое воспроизведение исследуемого процесса невозможно (имитация целевой и аномальной помеховой обстановки, воздействие на среду распространения электромаг-

нитных излучений высотных ядерных взрывов, поражение целей и т.п.) или требует больших затрат вычислительных ресурсов.

Метод математического моделирования требует наивысшей интеллектуальной квалификации, особенно в отношении малоизученных процессов.

Другим видом является метод детального имитационного (натурно-цифрового) моделирования, применяемый для исследования строго алгоритмизируемых процессов. Сущность его состоит в программной реализации алгоритмов функционирования исследуемого процесса (устройства, средства, системы) и адекватной имитации входных данных этого процесса. Такая модель отличается от моделирования натурального образца только составом вычислительных средств и при детальном воспроизведении реальных алгоритмов на модельных средствах и качественной имитации входных данных обеспечивает наибольшую степень адекватности натуре и наивысшую точность оценок характеристик и боевых возможностей.

При этом вычислительные ресурсы моделирующего комплекса по меньшей мере должны быть равны вычислительным ресурсам моделируемого объекта плюс ресурсы на имитацию входных данных.

По двум причинам метод натурно-цифрового моделирования в последние годы становится все более распространенным. Во-первых, это расширение сферы его корректного применения из-за возрастания в современных средствах и системах удельного веса программно-алгоритмического обеспечения. Во-вторых, это появление доступной по стоимости высокопроизводительной вычислительной техники и технологии вычислительных сетей с возможностями, которые еще несколько десятилетий назад были для разработчиков несбыточной мечтой.

На практике при разработке большинства моделей используется сочетание методов математического (формульно-расчетного) и натурно-цифрового (детального имитационного) моделирования [2]. Выбор их рационального сочетания – это предмет творческого компромисса. При этом в наиболее сложных и совершенных моделирующих комплексах имитация части входных данных модели сочетается с потоком реальных данных о целевой и помеховой обстановке, поступающих на вход объекта моделирования, а также о внутренних и внешних возмущениях и управляющих воздействиях, что в значительной степени приближает подобный моделирующий комплекс к натурному образцу исследуемого объекта.

Имитация сигнально-помеховой обстановки в полном объеме требует больших вычислительных ресурсов, помимо этого, применительно к обзорным РЛС РТВ значителен объем информации, которую необходимо формировать. Так, для каждого парциального (пространственного) луча обзорной РЛС необходимо формировать последовательность кадров, отображающих сигналы и помехи на входе приемного устройства РЛС при последовательном (регулярном) обзоре пространства.

Информацию следует представлять комплексными отсчетами огибающей входных воздействий, следующими через интервал временной дискретизации колебаний в приемном тракте конкретной РЛС. Сигналы трактов, реализующих пространственную когерентную обработку (колебания на входе системы адаптивной пространственной компенсации активных шумовых помех или на выходе элементов раскрыва антенной решетки) допускается не моделировать ввиду резкого возрастания вычислительных затрат.

Характеристики радиолокационных кадров для ряда типовых обзорных РЛС РТВ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики кадров типовых обзорных РЛС РТВ

№ п/п	Тип РЛС	Количество угломестных каналов, п.	Разрядность представления входных отсчетов, бит	Число отсчетов кадра по дальности, п.	Шаг отсчета по дальности в долях $\tau_{\text{эле}}^{\text{м}}$	Число отсчетов кадра по азимуту, п.	Общее число элементов кадра, п. $\times$ п. $\times$ п.	Объем/скорость
1	19Ж6	4	$10 \times 2$	500	0,88	6810	13620000	34 Мб3,4 Мб/с
2	22Ж6	8	$9 \times 2$	750	1	6000	36000000	64 Мб6,4 Мб/с
	35Н6	1	$11 \times 2$	1200	1	6000	7200000	20 Мб2 Мб/с
3	57У6	1	$12 \times 2$	526	1	5000	2630000	7,9 Мб 0,79 Мб/с
4	55Ж6	5	$2 \times 2$	1515	1	2000	15150000	75,75 Мб7,6 Мб/с
5	П-37	5	$7 \times 2$	1000	1	3750	3750000	33 Мб3,3 Мб/с
6	36Ж6	1	$10 \times 2$	625	1	5000	3125000	8 Мб0,8 Мб/с
7	64Ж6	4	$9 \times 2$	574	1	3650	18750000	33 Мб3,3 Мб/с

Под  $\tau_{\text{эле}}^{\text{м}}$  в таблице понимается длительность элементарной посылки зондирующего сигнала в виде ФКМ-кода, длительность импульса при простом («гладком») импульсном сигнале или длительность сжатого импульса при частотной модуляции импульсов зондирующего сигнала.

Из табл. 1 следует, что при темпе обзора 5...10 с объем информации в кадрах за один цикл обзора может достигать 60 Мб.

Для формирования помеховой обстановки в реальном масштабе времени производительность устройства моделирования должна составлять 3...6 Мб/с. Такая пропускная способность для современных ЭВМ не является проблемой. Однако предварительные процедуры подготовки данных и формирование выходного массива, как правило, требуют большого объема вычислений, что не позволяет формировать кадры в реальном времени. Для формирования сигнально-помеховой обстановки в реальном масштабе времени необходимо использовать современные специализированные микропроцессорные устройства (типа Xilings, Altera и др.); другой вариант – формировать

последовательность кадров, соответствующих нескольким циклам обзора, в произвольном масштабе времени, а затем использовать их для «подыгрыша».

Исходя из сказанного, по-видимому, следует различать требования к массовым тренажно-имитационным комплексам предназначенным для подготовки лиц боевого расчета, отработки тактических приемов и т.д., и единичным (специфичным и уникальным) комплексам ориентированным на решение задач исследовательского характера: проведение испытаний образцов радиолокационного вооружения, отработки вариантов построения различных систем РЛС и т.д.

Такой подход позволит резко снизить затраты (и время) на разработку, а также значительно сократить стоимость имитационной аппаратуры.

Анализ существующих образцов [3 – 6] позволяет уже на сегодняшнем этапе выделить некоторые общие тенденции, сформулировать основные понятия и объективные требования к современным тренажно-имитационным комплексам:

1. Тренажно-имитационный комплекс РЛС должен быть предназначен для обеспечения работы тренажеров и средств обучения операторов РЛС, а также проведения испытаний и отработки алгоритмов функционирования средств обработки сигналов, обнаружения и автосопровождения целей, индикаторных устройств РЛС.

2. Программно аппаратные средства имитатора должны формировать радиолокационный видеосигнал (радиосигнал) и набор сигналов синхронизации, соответствующие выбранному (установленному оператором) типу РЛС, как «старого» так и «нового» парка, и обеспечивать комплексную тренировку боевых расчетов в составе группировки РТВ любого уровня и иерархии.

3. Радиолокационный сигнал, генерируемый с учетом движения, ракурса и типа цели, состоит из отраженных сигналов от имитируемых целей (параметры движения и место положения воздушных целей задаются оператором в виде сценариев обстановки) и отраженных сигналов от подстилающей поверхности (формируются по электронной карте выбранного района).

4. Комплекс ПО имитатора должен обеспечивать задание параметров РЛС, координат точки стояния РЛС, задание координат и параметров движения целей (до 50 целей в секторе ответственности), создание и выбор сценариев развития обстановки для различных ситуаций (расхождение и пересечение трасс целей, маневр по курсу и по высоте и т.п.), имитацию действия на РЛС помех как активных (импульсных, шумовых и т.д.) так и пассивных (отражения от подстилающей поверхности, метео-факторы, в том числе «ангел»-эхо, дипольные помехи), а также помех возникающих при неисправности аппаратуры (искрение токосъемника, пробой в тракте и т.д.)

5. Имитатор должен обеспечивать формирование и выдачу (или прием) по стандартным скоростным интерфейсам текущих сообщений (формуляров)

по имитируемым целям (пеленгам) и действующим помехам. Формат сообщения и интерфейс обмена с внешними системами подлежит унификации и должен являться единым для всех разрабатываемых средств имитации.

6. Необходимо вводить имитируемые сигналы в тракт РЛС, в этом случае обеспечивается максимальное приближение работы оператора к реальной, т.к. фактически он выполняет на своем рабочем месте те же операции, что и при боевой работе и наглядно видит влияние различных режимов работы РЛС с учетом реального технического состояния.

7. Необходима возможность проводить тренажи и с использованием обычных ПЭВМ там, где отсутствуют реальные образцы техники, например, в ВВУЗах, где нет новейших и дорогих образцов РЛС.

Существующие каналы связи не способны обеспечивать эффективное взаимодействие и обмен данными между источниками и потребителями информации в подразделениях, даже в сети ртб – 3...5 орлр.

Крайне желательно иметь возможность проводить не только автономную тренировку на образце вооружения, но и комплексную (по единому замыслу), в составе группировки РТВ различного состава и уровня.

Такая возможность была, например, реализована в АСУ Луч-4, однако на сегодня она требует корректировки и модернизации с учетом новых форм и методов применения средств воздушного нападения, а также возросших вычислительных мощностей ЭВМ.

Целесообразно строить систему проведения комплексных тренажей размещая элементы обеспечивающие комплексность тренировки (сервер воздушной обстановки) с опорой на существующую сеть ртб и КП всех уровней. Обмен данными в системе следует вести на уровне формуляров целей и помех. Формуляр должен включать координатную и признаковую информацию, а также временную привязку.

**Анализ публикаций.** Активные работы по созданию комплекса математических моделей для имитационных комплексов ведутся ЦНПО (МАК) «Вымпел» (Россия) [2], ЗАО Научно-производственное предприятие «Авиационная и Морская Электроника» (Россия) [3]. ФГУП «ГМЗ САЛЮТ» (Россия), например, предлагает комплекс модернизаций радиолокационного вооружения кораблей, одно из направлений – установка комплекса имитации контура ПВО корабля, взаимодействующего со средствами имитации сопрягаемых систем [2].

Опыт разработки имитационных комплексов имеется в КП «НПК Искра», НПО «Аэротехника» (встроенные имитаторы) [5, 6], НПО «Укрспецтехника» (в рамках модернизации РЛС П-18 создается встроенный имитатор). Ряд работ по созданию средств имитации выполнялся в ВИРТА ПВО им. Л.А. Говорова. Позднее работы были продолжены в ХВУ, сейчас работы ведутся в ОНДИ ЗСУ и ХУ ПС им. И. Кожедуба. Созданный в ОНДИ

ЗСУ тренажно-имитационный комплекс «Виразж» позволят решать задачи тренировок боевых расчетов практически в полном объеме.

Характерной особенностью тренажно-имитационного комплекса «Виразж» является возможность проведения совместных тренажей не только боевых расчетов РТВ, но и штурманов наведения истребительной авиации, а также боевых расчетов ЗРВ на единой тактической обстановке, с учетом реального рельефа местности.

На кафедре 502 ХУ ПС им. И. Кожедуба создана модель текущей сигнально-помеховой обстановки применительно к обзорным РЛС РТВ сантиметрового, дециметрового диапазонов длин волн, включающей перечень калиброванных (по информационным показателям) эхо-сигналов целей, активных импульсных, шумовых и пассивных помех.

Модель позволяет формировать последовательность радиолокационных кадров, соответствующих циклам обзора, представляющих собой массивы комплексных отсчетов входных воздействий. Предусмотрена возможность оперативного изменения параметров сигнально-помеховой обстановки и оценивания различных ее характеристик. Основное внимание обращено на моделирование пространственно нестационарных и целеподобных дискретных мешающих отражений (типа «ангел-эхо»). На основе обширных статистических данных симитированы их пространственно-временные энергетические и корреляционные характеристики. Учтены особенности межобзорных координатных перемещений и изменения спектральных и энергетических характеристик в пределах нескольких кадров.

Модель прошла апробацию и была включена в фонд алгоритмов и программ ХВУ.

Комплекс «Виразж» и модель сигнально-помеховой обстановки могут быть использованы:

1. Для анализа боевых возможностей РЛС (оценки размеров зоны обнаружения), выбора оптимальных режимов работы и тренировки операторов.

2. В процессе безоблетного контроля зоны обнаружения РЛС с учетом воздействия ДМО типа «ангел-эхо», а так же для оперативного контроля технического состояния РЛС путем введения эталонных сигналов и помех в тракт обработки на радио- или видеочастоте.

3. Для формирования исходной обстановки с заданными статистическими характеристиками (в отличие от случайной реальной), что позволяет использовать ее в качестве «банка сигналов и помех» для отработки технических решений.

**Выводы.** Таким образом, можно выделить ряд вопросов требующих обсуждения и решения:

1. Разработка стандартных математических моделей имитации, как самих воздушных объектов, так и условий их обнаружения с использованием этих моделей в дальнейшем всеми разработчиками и испытателями.

2. Сопровождение разработанных моделей с уточнением параметров, требующих экспериментального определения и разработкой предложений по методике и организации последующих экспериментов о формах и порядке скорейшего решения поставленных задач.

3. Интерфейс «общения» тренажно-имитационных комплексов и формат сообщений требует унификации.

4. Необходима единая комплексная система проведения тренажей и обучения боевых расчетов (как отдельных номеров, так и расчетов в целом на уровне РЛС, КП и во взаимодействии).

5. Обсуждению подлежит способ введения имитированных сигналов в тракт РЛС с цифровой обработкой. По-видимому, необходимо вводить сигнал на радиочастоте максимально близко к антенне с целью обеспечить наибольший охват задействованных систем РЛС, что технически сложно.

6. Совершенствование устройств обработки радиолокационной информации (например, «Экстрактор») привело к значительному упрощению работы оператора, однако по-прежнему актуальны задачи анализа помеховой обстановки и выбора режимов работы, что следует учитывать при тренаже расчетов РЛС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрамченко А. Радиотехнические войска: трудное настоящее // Воздушно-космическая оборона. – 2005. – № 1 (20). – С. 15-21.
2. Репин В. Состояние и перспективы моделирования. Место, роль и методы моделирования // ЦНПО (МАК) «Вымпел». – Эл. ресурс. – Режим доступа: <http://www.vko.ru>.
3. Имитатор радиолокационного сигнала (РЛС): Рекламная информация // ЗАО Научно-производственное предприятие «Авиационная и Морская Электроника». – Эл. ресурс. – Режим доступа: <http://www.nppame.ru>.
4. Имитатор радиолокационной обстановки: Рекламная информация // Научная лаборатория кафедры «Телекоммуникации» УГТУ. – Эл. ресурс. – Режим доступа: <http://tk.ulstu.ru>.
5. Твердотельная РЛС П-18 ОУ: Рекламная информация // НПК «Аэротехника». – Эл. ресурс. – Режим доступа: [www.aerotechnica.ua](http://www.aerotechnica.ua).
6. Твердотельная РЛС обнаружения маловысотных целей П-19 ОУ: Рекламная информация // НПК «Аэротехника». – Эл. ресурс. – Режим доступа: [www.aerotechnica.ua](http://www.aerotechnica.ua).

Поступила 13.04.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор Ю.Н. Седышев,  
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.