

**МЕТОДОЛОГИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ИМИТАЦИОННОГО  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМ ЗЕНИТНЫМ РАКЕТНЫМ  
ОРУЖИЕМ****А. В. Борзунов, А. А. Коротков (Москва)**

Современный противовоздушный бой характеризуется массированным применением средств воздушного нападения (СВН). СВН обладают большим диапазоном скоростей применения, большим радиусом действия, высокой маневренностью, малой эффективной поверхностью рассеивания, разнообразной тактикой применения. Это предъявляет к современным корабельным зенитным ракетным комплексам (ЗРК) повышенные требования.

Из-за характерного для противовоздушного боя разнообразия нестандартных ситуаций, многие из которых не поддаются формализации, в управлении ЗРК требуется вмешательство оператора, использующего эмпирические знания. За оператором остаются наиболее ответственные решения, определяющие тактику ведения противовоздушного боя. Хотя степень автоматизации процессов управления растет, но увеличение канальности и скорострельности ЗРК приводит к увеличению нагрузки на оператора. Усложнение задач влечет за собой необходимость управления большим количеством процессов, что требует повышения качества предоставления больших объемов информации оператору и приема от него большей номенклатуры команд. Создание интерфейса оператор – система управления ЗРК требует решения двух задач: задачи отображения информации на экранах и задачи приема управляющих команд от оператора. Теоретико-аналитический подход к построению алгоритмического обеспечения для решения этих задач имеет ограничения и требует доработки интерфейса на макете с использованием экспертных оценок.

Таким образом, при проектировании ЗРК актуально решение задач отработки взаимодействия человека-оператора со средствами автоматизации, получения оценок эффективности работы ЗРК с учетом наличия оператора в контуре управления, отработки интерфейса.

Для получения оценок эффективности работы ЗРК широко используются методы математического моделирования [1]. Однако, в математических моделях оператор в системах управления ЗРК либо имитируется динамическим звеном, либо не имитируется [2]. Следует отметить, что в настоящее время методы аналитического синтеза алгоритмов интерфейсов и методы адекватного описания сложной интеллектуальной деятельности человека (в частности, оператора ЗРК) отсутствуют.

В связи с этим для проектирования сложных систем управления с участием в процессе управления человека-оператора необходимо создавать математические модели с включением в их состав человека. То есть можно говорить о самостоятельном типе математических моделей – интерактивных математических моделях и, соответственно, о разновидности математического моделирования.

Под интерактивной моделью будем понимать модель, взаимодействующую с пользователем непосредственно в ходе моделирования (постановки эксперимента). Сформулируем, исходя из задач, которые должна решать комплексная интерактивная математическая имитационная модель, предъявляемые к ней требования.

- 1) В модели должно быть обеспечено подобие структуры модели структуре ЗРК.
- 2) Должно быть обеспечено соответствие алгоритмического обеспечения модели алгоритмическому обеспечению ЗРК.
- 3) При моделировании должен быть обеспечен реальный масштаб времени.

4) В модели необходимо создавать интерфейс, соответствующий интерфейсу устройств ввода-вывода реальных устройств.

Для того, чтобы комплексная интерактивная математическая имитационная модель отвечала сформулированным требованиям при ее создании и использовании, необходимо придерживаться ряда принципов.

1. Принцип структурного подобия. Структура модели в максимальной степени должна отражать структуру ЗРК. Каждому элементу и подсистеме соответствует функциональный блок модели.

2. Принцип алгоритмической идентичности. В настоящее время программирование алгоритмического обеспечения осуществляется на языках программирования высокого уровня, например, C++. Такая технология создания программного обеспечения позволяет обеспечить практически полное соответствие алгоритмического обеспечения ЗРК и соответствующих блоков модели.

3. Принцип функционального подобия. Этот принцип означает, что модель обеспечивает имитацию работы системы во всех режимах и этапах работы ЗРК во всех условиях ее применения.

4. Принцип динамического подобия. Для обеспечения интерактивной работы модели необходимо реализовать реальный масштаб времени.

5. Принцип соответствия интерфейса. Означает соответствие органов ввода/вывода модели и системы управления ЗРК.

6. Принцип блочности построения модели. Информационное поле модели (информационные связи) предусматривает возможность добавления новых модельных блоков. Блочная структура модели соответствует структуре ЗРК, информационные связи между блоками соответствуют реальным как по перечню передаваемой информации, так и по темпу ее передачи.

7. Принцип вычислительной достаточности. При моделировании используются персональные компьютеры, характеристики которых не хуже, чем у вычислительных средств комплекса.

8. Принцип полунатурного моделирования. Означает возможность использования записанных данных, которые поступают в информационное поле модели как выходные данные частных моделей соответствующих устройств (см. [3]).

9. Принцип достоверности результатов. После отладки модели и перед началом исследования системы с ее помощью модель проверяется на адекватность.

10. Принцип наблюдаемости и управляемости. На всех этапах создания модели требуется уделять внимание удобству работы с ней. При этом равновелико значение как удобства ввода условий эксперимента, так и удобства хранения и анализа результатов экспериментов.

С использованием описанных принципов была создана комплексная интерактивная математическая имитационная модель ЗРК с полуактивным самонаведением. Комплексная интерактивная математическая имитационная модель, реализующая вышеприведенные принципы, создана как программный продукт, функционирующий на моделирующем стенде, состоящем из офисных персональных компьютеров и оборудования, объединяющего их в единую сеть. Топология сети и каналы обмена отображают принцип структурного подобия модели и ЗРК. Программные блоки модели разделены на технологические группы:

- МПО модели ЗРК, максимально приближенное к МПО ЗРК;
- частные модели (исполнительные устройства и сопрягаемые системы);
- модели окружающей среды (движения корабля, движения целей и т.д.);
- технологические программы, обеспечивающие единое информационное поле моделирования и единое модельное время.

Такое разделение соответствует разделению задач при создании модели между группами исполнителей.

Реализация принципа алгоритмической идентичности отразилась в создании моделей центрального вычислительного комплекса, рабочих мест операторов (АРМ), системы обработки радиолокационной информации и других подсистем, в которых алгоритмическое обеспечение полностью соответствует алгоритмическому обеспечению соответствующих приборов ЗРК.

Реализованный принцип функционального подобия позволил провести отработку всех режимов работы ЗРК, в том числе и режима тренировки операторов.

Реализацией принципа динамического подобия является организация работы модели в реальном масштабе времени, с точной имитацией временных диаграмм работы как каждого элемента комплекса, так и всего ЗРК в целом.

Модели пультов операторов обеспечивают визуализацию информации, идентичную визуализации на реальных пультах операторов. Устройства ввода команд максимально приближены по своим свойствам к устройствам ввода реальных пультов.

Модель ЗРК реализована как совокупность блоков. Разбиение модели на блоки определяется принципом структурного подобия. Принцип блочности позволил отрабатывать модель и наращивать функциональность модели постепенно, что значительно упростило отладку модели в целом.

При выборе персональных компьютеров для моделирующего стенда уделялось внимание близости характеристик персональных компьютеров и вычислительных средств ЗРК. В результате были получены оценки достаточности вычислительных средств комплекса.

При создании модели, реализуя принцип достоверности результатов, проводилась верификация сначала поблочной, а затем и всей модели в целом, что позволило исследовать свойства модели и подтвердить достоверность результатов моделирования во всем диапазоне допустимых состояний системы.

Для реализации принципа наблюдаемости и управляемости были созданы три программных блока: блок ввода начальных данных эксперимента; блок задания неисправностей; блок регистрации и обработки результатов эксперимента. Реализация принципа наблюдаемости и управляемости позволила упростить и ускорить постановку эксперимента на модели и обработку результатов математического и полунатурного экспериментов.

Работа в реальном масштабе времени и соответствие визуализации пультов обеспечивают отработку диалога человека-оператора с информационными и исполнительными средствами.

Выполнение принципов структурного подобия и алгоритмической идентичности обеспечивает получение оценок эффективности действий человека-оператора и комплексных характеристик системы с учетом участия человека-оператора в процессе управления системой. Для получения оценки эффективности проводится эксперимент по решению человеком-оператором типовой задачи (для ЗРК – отражение типового налета).

При создании комплексной интерактивной математической имитационной модели кроме основных целей получены и сопутствующие результаты. Соответствие языка программирования обеспечило возможность отработки алгоритмического программного обеспечения (МПО) на модели, без последующей трансляции в другие языки программирования. Кроме того, реализация приведенных принципов построения модели позволила на базе комплексной интерактивной математической имитационной модели создать МПО для тренажеров и комплексных стендов.

### Выводы

Создание и эксплуатация комплексной интерактивной математической имитационной модели ЗРК с полуактивным самонаведением на базе предложенных принципов построения подтвердили выполнимость основных задач, возложенных на нее. На комплексной интерактивной математической имитационной модели были полностью отработаны интерфейсы АРМ ЗРК. Были получены оценки эффективности обеспечения условий захвата цели головкой самонаведения ЗУР с учетом действий операторов. Кроме решения основных задач на модели была определена эффективность использования отдельных элементов ЗРК (РЛС, ЗУР и т.д.). Были проведены проверки выполнения тактико-технических требований, предъявляемых к ЗРК (канальность по целям, канальность по ЗУР, границы зоны действия, время реакции и т.д.). Были обоснованы требования к вычислительным средствам ЗРК.

### Литература

1. **Зарубин В. С.** Математическое моделирование в технике// М.: Издательство МГТУ им. Н. Э.Баумана. 2003. с. 495.
2. **Борзунов А. В., Павлова Н. В.** Применение методов математического моделирования при разработке и испытаниях комплексов и систем зенитного управляемого ракетного оружия надводных кораблей// Радиоэлектронные системы, сер. «Общетехническая». Вып. 1(2). 1999.
3. **Борзунов А. В., Тихонова О. В.** Алгоритмическое полунатурное моделирование как метод повышения достоверности экспериментальных данных// Судостроительная пр-ть, сер. САППУ. Вып. 21. 1991.