
ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.В. Вишнякова (Москва)

Введение

Современные и перспективные самолеты гражданской и боевой авиации представляют собой сверхсложные технические системы, которые объединяются комплексами управления в еще более сложные организационно-технические системы и функционируют в тесном взаимодействии как друг с другом, так и с внешней окружающей средой в сложной фоновой обстановке. В ходе разработки данных систем для расчета и анализа количественных показателей и критериев эффективности их работы широко используется имитационное математическое моделирование, воспроизводящее процессы функционирования авиационных систем и комплексов. Во ФГУП «Государственный НИИ авиационных систем» создана система математических имитационных моделей, разработаны методики, связанные с применением этих моделей на различных этапах исследований и на различных фазах жизненного цикла систем.

Рассмотрим спектр практических задач, решаемых с помощью имитационного моделирования в двух больших областях:

области вооружений и военной авиационной техники

области гражданской авиации и систем организации и управления воздушным движением самолетов гражданской авиации.

I. Задачи, решаемые с использованием имитационного моделирования в области вооружений и военной авиационной техники

1. Задача анализа эффективности современных и перспективных авиационных боевых комплексов при сетцентрическом управлении на основе компьютерной имитации боевых действий

Эффективность ведения боевых действий авиационных боевых комплексов (АБК) и систем противовоздушной обороны находится в зависимости от различных факторов.

Во-первых, от уровня развития зарубежной боевой авиации, ее тактико-технических характеристик (ТТХ), а также ТТХ ее системы вооружений. Анализ опыта последних боевых действий показывает, что авиация превратилась в исключительно эффективный вид вооруженных сил, практически самостоятельно могущий решать исход боевых действий в военном конфликте. В настоящее время существуют такие направления развития боевых самолетов и их вооружения, как совершенствование бортовых радиолокационных и радиотехнических систем, создание высокоскоростных средств самолетной радиосвязи, обновление и совершенствование парка управляемых ракет, использующих головки самонаведения с комплексированием активного и пассивных режимов наведения, инерциально-спутниковые системы управления, высокоэнергетические двигательные установки, разгоняющие ракеты до гиперзвуковых скоростей.

В России также ставятся аналогичные задачи в рамках перспективного АБК и его вооружения. Решение их требует прохождения ряда этапов жизненного цикла создания систем комплекса бортового оборудования (КБО) самолета с опережающим математическим моделированием для анализа эффективности принимаемых технических решений.

Во-вторых, от логики и тактических приемов ведения боевых действий, организации информационного обмена и боевого управления в ходе боевой операции. Необходимо отметить, что ВВС НАТО уже в настоящее время превращаются в интегрированную информационно-ударную систему с организацией полного тактического, информационного и огневого взаимодействия между всеми задействованными средствами воздушного напа-

дения. Противостоять с достаточной степенью эффективности такой системе может только соответствующим образом интегрированная информационно-ударная система обороны и нападения. Создание интегрированной системы ПВО может существенно, а в ряде случаев на порядок, повысить эффективность системы ПВО в условиях современного боя. Кроме того, отсутствует организация плотного взаимодействия и управления боевой авиацией в составе групп (звено, авиакрыло), без чего просто невозможно обеспечить высокую эффективность в боевых действиях уже на сегодняшний день.

Организация взаимодействия между отдельными самолетами в группе, а также между авиационной и зенитной компонентами ПВО состоит в оптимизации целераспределения, определении рубежей пуска УР, построении авиаудара, выборе режимов работы радиоэлектронных средств. Т.е. на первый план современных и будущих боевых операций выходят вопросы групповой тактики боевого применения.

Для повышения эффективности действий авиационных боевых комплексов и систем противовоздушной обороны (ПВО) ставятся и решаются следующие задачи:

оценки эффективности авиационных боевых комплексов и систем ПВО, функционирующих под управлением автоматизированных систем боевого управления, в том числе сетцентрических;

выбора и обоснования рациональной структуры построения, состава и характеристик авиационных и зенитных комплексов, а также систем боевого управления этими комплексами, т.е. решается задача системного проектирования – синтеза;

создания среды отработки и тестирования бортовых алгоритмов функционального программного применения (ФПО) авиационных боевых комплексов, в том числе самолета ДРЛО, алгоритмов наземных систем автоматизированного управления;

выбора рациональной тактики боевого применения различных видов авиационно-ракетных вооружений и военной техники;

планирования на цифровых картах рельефа местности боевых операций с использованием новых и модернизируемых образцов авиационной техники;

оснащения комплексов управления системами поддержки принятия решений (СППР) на основе прогнозного опережающего моделирования.

Решение данного спектра задач производится в ГосНИИАС на основе комплексов имитационного моделирования процессов функционирования авиационно-ракетной техники в ходе боя, дающего возможность получить количественные оценки показателей эффективности и проанализировать как тактико-технические характеристики средств, так и алгоритмы управления ими. При имитационном моделировании воспроизводятся обнаружение воздушных и наземных объектов, взятие их на точное сопровождение, а также поражение, представляющие собой случайные процессы. Динамика действий в отдельных реализациях при имитационном моделировании отображается в 3D-сценах (рис.1), что позволяет качественно поднять уровень принятия решений во всем перечисленном выше спектре решаемых задач.

Создание на основе имитации методами математического моделирования внешней обстановки в качестве среды отладки и тестирования ФПО перспективных самолетов и зенитных ракетных комплексов позволяет:

снизить материальные затраты на разработку ФПО за счет проведения основных работ по отладке и тестированию на математических стендах, состоящих только из персональных компьютеров и следовательно резкого снижения времени, необходимого для отладки ФПО на стендах полунатурного моделирования и в ходе летных испытаний;

снизить временные затраты на разработку ФПО за счет проведения отработки ФПО в ускоренном времени и параллельной отладки частей ФПО на нескольких относительно недорогих математических стендах;

проводить отладку и тестирование ФПО в условиях масштабных групповых бое-

вых действий, воспроизведение которых невозможно на стендах полунатурного моделирования и в ходе летных испытаний.

2. Задача разработки интеллектуальных систем наведения перспективных управляемых ракет, обеспечивающих высокоточное наведение на цели в сложных условиях боевого применения.

Современные и разрабатываемые пилотируемые и беспилотные средства воздушного нападения (СВН) обладают возможностями адаптации к конкретным условиям боевого применения, интенсивного маневрирования, малой эффективной отражающей поверхностью, малой уязвимостью, высокой скоростью полета, в том числе гиперзвуковой и др.

СВН с перечисленными возможностями, представляют серьезную проблему для перехвата современными управляемыми ракетами (УР), которые не обеспечивают поражение с высокой вероятностью. Такое положение в значительной мере объясняется относительным увеличением сроков и экономических затрат на разработку УР. В свою очередь, увеличение сроков и затрат на разработку УР в большей степени объясняется использованием старых технологий и методов проектирования систем наведения УР, отсутствием системной проработки.

Для повышения точности наведения управляемых ракет ставятся и решаются следующие задачи:

разработка методов и алгоритмов высокоточного наведения УР различных компоновочных схем в сложной сигнальной обстановке на основе применения статистических методов оптимального управления;

исследование новых возможностей по созданию систем наведения УР, открывающихся при использовании РГС с цифровыми приемниками;

разработка методов управления при наведении на групповые и низколетящие цели с учетом сложной интерференционной картины переотражения ответного сигнала;

создание и анализ систем наведения ракет, использующих новые типы комбинированных РГСН в УР: инерциально/активные, активно/пассивные, активно/полуактивные.

Решение перечисленных задач дает возможность разработки оптимальных систем наведения, обеспечивающих высокоточное наведение УР на широкий класс целей в сложной сигнальной обстановке, в отличие от современных систем наведения, специализирующихся на наведении на достаточно ограниченный класс объектов и в относительно простых условиях. Ключевым инструментом решения перечисленных проблем являются методы имитационного математического моделирования функционирования и наведения УР на цель в сложной тактической и радиолокационной обстановке.

В ГосНИИАС разработана система математических моделей УР с высокой степенью интеграции современных знаний о всех подсистемах ракеты. Структура математической модели системы наведения для зенитной управляемой ракеты (ЗУР) представлена на рис. 2.

Разработка таких математических моделей является наукоемкой задачей, так как требует привлечения и интеграции знаний специалистов по динамике управляемого полета, радиолокационным и оптическим ГСН, инерциальным системам, системам стабилизации летательных аппаратов, системам оптимального управления. Кроме того, необходимо свободное владение методами компьютерного программирования и разработки современного бортового программного обеспечения.

II. Задачи, решаемые с использованием имитационного моделирования в области гражданской авиации и систем организации и управления воздушным движением самолетов

Пленарные доклады

В настоящее время за рубежом проводятся активные исследования по формированию обоснованного общего взгляда на проблемы построения и конечную структуру перспективных систем планирования и управления воздушным движением. Уже много лет организации-регуляторы воздушного движения в Европе (Евроконтроль – Eurocontrol) и США (Федеральная авиационная администрация – FAA) проводят планомерные работы по усовершенствованию систем организации воздушного движения. В последние годы работы по модернизации этих систем ведутся в рамках научных программ создания перспективных систем управления воздушным движением SESAR в Европе и NextGen в США.

Необходимость принятия кардинальных мер определяется постоянным ростом интенсивности воздушного движения, который входит в конфликт с возможностями существующей системы и обеспечиваемой ею пропускной способностью, приводит к снижению эффективности, лавинообразному увеличению задержек, снижению безопасности полетов, ухудшению экологических показателей.

Техническими предпосылками, определяющими возможность модернизации, являются разработка и применение спутниковых и других технологий связи, навигации и наблюдения. Направления модернизации связаны с такими существенными изменениями, как:

- перенесение ряда функций по управлению воздушным движением, значительной части ответственности за безопасность движения на борт ВС;
- смена основной парадигмы «система должна обеспечить выполнение заявленного пользователем полета» на новый принцип «условия выполнения полета согласуются и принимаются всеми участниками, а затем всеми выдерживаются с высокой точностью».

Для увеличения пропускной способности воздушного пространства, повышения безопасности полетов, повышения эффективности полетов самолетов гражданской авиации от перрона до перрона ставятся и решаются следующие задачи:

разработка методов и алгоритмов управления воздушными судами (ВС) в режиме самоэшелонирования, создание прототипов функционального бортового программного обеспечения (ПО) функций наблюдения и самолетовождения;

разработка методов и алгоритмов планирования и управления воздушным движением и воздушного пространства, создание прототипов элементов функционального ПО автоматизированных систем управления:

- планирование и регулирование потоков ВД назначением слотов вылета и ремаршрутизацией потоков/полетов;
- управление очередями вылета и прилета;
- совместное (борт-земля) управление 4D траекторией;
- RNAV-зональная навигация;
- интеграция операций планирования и управления движением ВС на аэродроме и в воздухе (A-SMGCS);
- адаптация пропускной способности к изменениям потоков (динамическая секторизация и возможности аэродромов);
- оптимизация трассовой структуры РФ, оптимизация структуры воздушного пространства РФ, (особое внимание при этом уделяется вопросам совместного принятия решений, участию борта в этом, а также перенесению значительной части функций управления на борт ВС);

валидация и оценка перспективных и внедряемых принципов, методов, способов планирования и управления воздушным движением:

- исследования применения идеологии совместного (коллаборативного) принятия решений (CDM) в планировании между бортом и землей, по управлению прилетом/вылетом, по управлению в районе аэродрома;

Пленарные доклады

- исследования по оценке эффективности идеологии глобального системного управления информацией (SWIM), в том числе ее бортовой компоненты;
- анализ особенностей управления с учетом выдерживания 4D траекторий (с целью формирования бесконфликтного полета).

Для решения поставленных задач в ГосНИИАС широко применяется как математическое, так и полунатурное имитационное моделирование. В настоящее время разработаны и используются Комплекс имитационного моделирования Организации воздушного движения (КИМ ОрВД) и Комплексный исследовательский стенд полунатурного имитационного моделирования интегрированных систем Управления воздушным движением (КИС УВД).

Комплекс имитационного моделирования организации воздушного движения применяется для проведения исследований при решении следующих задач:

- разработка и оценка мер по совершенствованию системы ОрВД, включая модернизацию структуры системы и воздушного пространства и изменение мер по регулированию потоков воздушного движения;
- оценка эффективности и безопасности использования воздушного пространства по множеству показателей и в произвольных условиях выполнения полетов;
- оценка влияния изменения состояния системы ОрВД и воздушного пространства и условий выполнения полетов на эффективность использования ВП.

Его функциональные возможности представлены на рис.4.

С использованием КИМ ОрВД разработчиками ГосНИИАС и специалистами ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» проведены исследования по анализу эффективности предложений Московского, Санкт-Петербургского, Ростовского, Хабаровского, Самарского районных центров УВД, оценка эффективности внедрения сокращенных норм эшелонирования RVSM в РФ и сопредельных государствах. Последние исследования посвящены оценке эффективности предложенных изменений трассовой структуры при обслуживании потоков воздушного движения в верхнем воздушном пространстве Московского района ЕС ОрВД.

Комплексный исследовательский стенд полунатурного имитационного моделирования интегрированных систем Управления воздушным движением используется в настоящее время для решения следующих задач:

- отработка перспективных бортовых приложений функции наблюдения и самолетовождения:
 - обнаружение конфликта (Conflict Detection, CD);
 - управление конфликтами (Airborne Conflict Management, ACM);
 - улучшенный визуальный обзор (Enhanced Visual Acquisition, EVAcq);
 - ремаршрутизация (Rerouting);
 - улучшенный визуальный заход на посадку (Enhanced Visual Approach, EVApp);
 - ситуационная осведомленность об обстановке на поверхности аэропорта (Airport Surface Situational Awareness, ASSA);
 - ситуационная осведомленность о занятости ВПП на конечном этапе захода на посадку (Final Approach and Runway Occupancy Awareness, FAROA);
 - поддержка вертикального эшелонирования на маршруте (In-Trail Procedure, ITP).
- отработка взаимодействия между бортом воздушного судна и диспетчером на базе цифровых линий связи CPDLC;
- моделирование новых способов и технологий организации очереди на прилет и управление прилетом (AMAN), организации очереди и управления вылетом (DMAN);
- моделирование функции наземного управления движением на аэродроме (SMAN);

– отработка алгоритмов управления и планирования потоков воздушного движения.

Разработанный Комплексный исследовательский стенд полунатурного имитационного моделирования интегрированных систем Управления воздушным движением является уникальным средством для проведения исследований, в котором интегрированы имитационные модели, макеты АРМ и реальная аппаратура. Эта оригинальная разработка не имеет отечественных аналогов.

Состав и основные функциональные компоненты стенда КИС УВД в виде макета(ов) кабины, автоматизированных рабочих мест (АРМ) и моделей представлены на рис.4.

Выводы

Представлен ряд практических задач, решаемых во ФГУП «ГосНИИАС» с применением методов имитационного математического моделирования. В области вооружений и военной авиационной техники задачи анализа эффективности современных и перспективных авиационных боевых комплексов и разработки интеллектуальных систем наведения перспективных управляемых ракет решаются по заказам предприятий ВПК. В области гражданской авиации и систем организации и управления воздушным движением задачи разработки и оценки мер по совершенствованию системы ОрВД, оценки эффективности и безопасности использования воздушного пространства, отработки перспективных бортовых приложений функции наблюдения и самолетовождения решаются по заказам Минпромторга и Корпорации ОрВД.

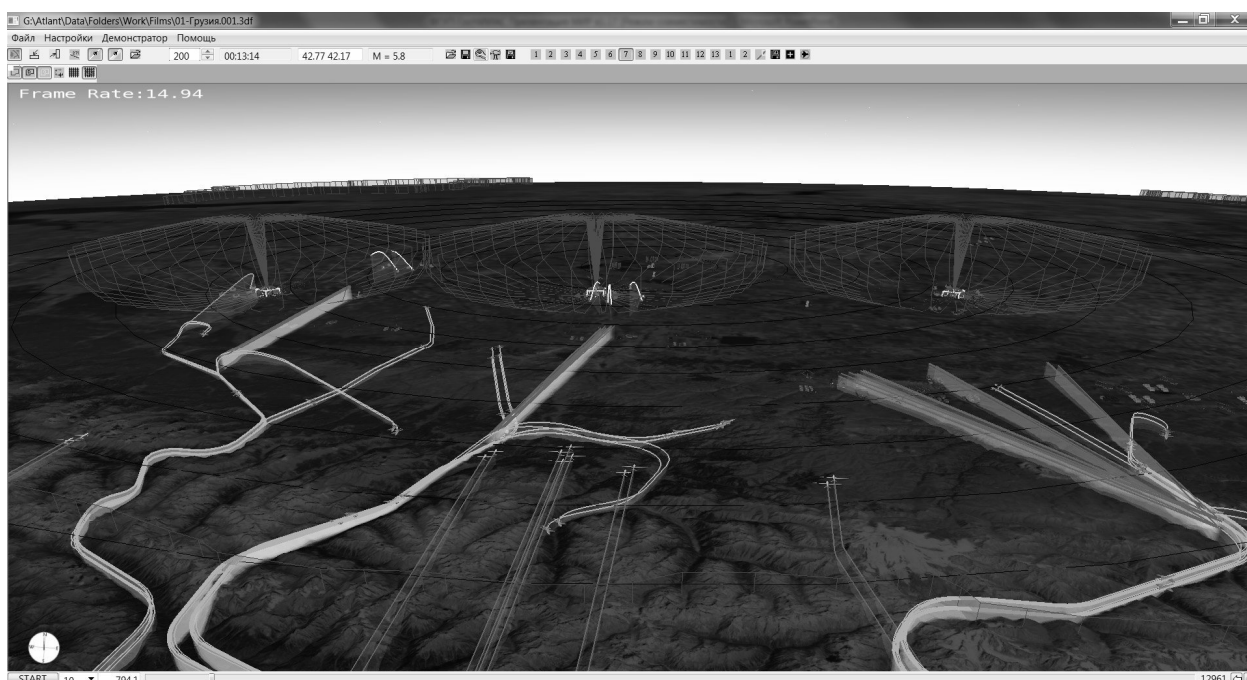


Рис. 1. Отображение в 3-D сцене, полученной путем имитационного моделирования динамики боевой операции отражения системой ПВО авиационного налета

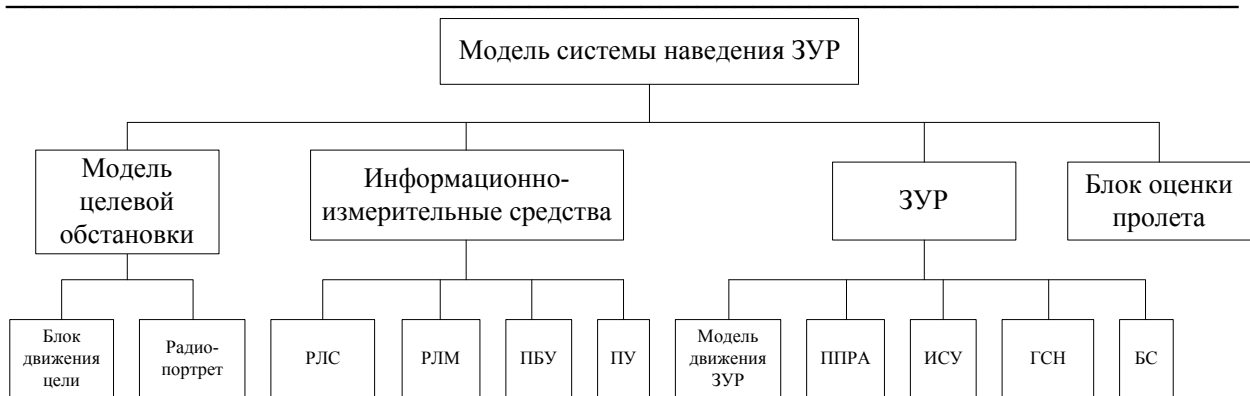


Рис. 2. Структура математической модели системы наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР)

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



Рис. 3. Функциональные возможности Комплекса Имитационного моделирования ОрВД

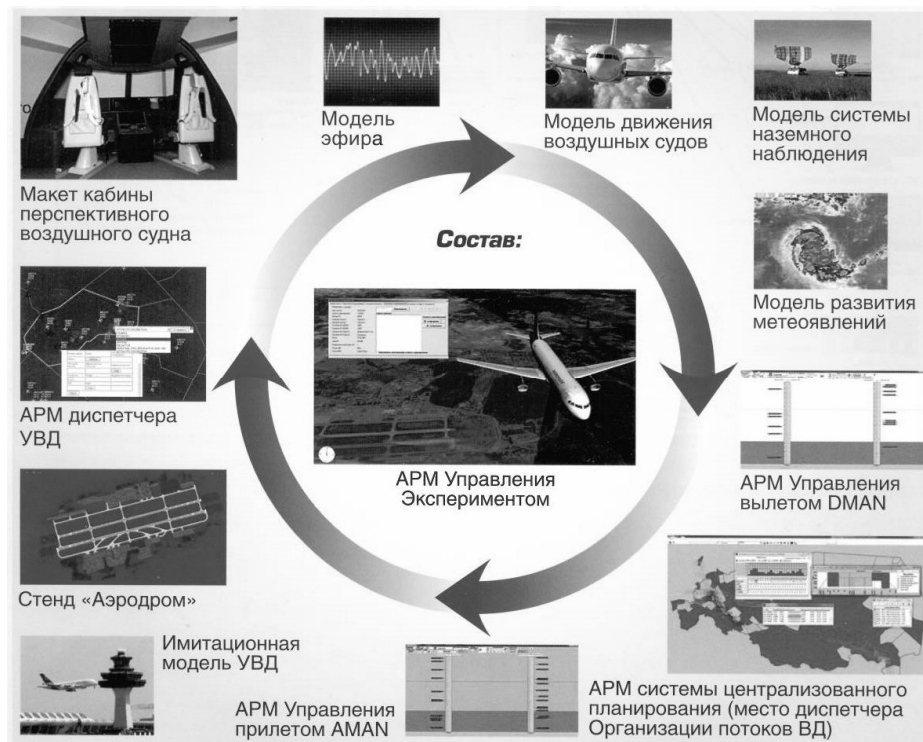


Рис. 4. Состав Комплексного исследовательского стенда полунатурного имитационного моделирования интегрированных систем Управления воздушным движением

Литература

1. Моделирование авиационных систем. Сборник докладов Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 12–14 апреля 2011 г. Т. I, II, III. – М.: ФГУП «ГосНИИАС», 2011.
2. Авиационные системы в XXI веке // Сборник докладов Юбилейной науч.-техн. конф., Москва, 11-13 апреля 2006 г. Т. I, II. – М., ФГУП «ГосНИИАС», 2006.
3. **Вишнякова Л.В., Чуянов Г.А.** Моделирование в поддержку принятия перспективных решений по ОрВД и разработка интегрированной модульной авионики с новыми функциональными бортовыми приложениями: доклад на 3-й международной конференции «CNS/ATM авионика», Московская область, г. Жуковский, 2011.
4. **Вишнякова Л.В.** New functionality of avionics in the implementation of prospective ATC system and its validation of the hardware-in-the-loop simulation method // Тр. международной конф. «Состояние и перспективы развития интегрированной модульной авионики», Москва, 29–30 октября 2012 г. В печати.
5. Анализ результатов работ по программам SESAR и NextGen в 2011–2012 гг. Аналитическая справка. НИР «Конструктор КБО – Интеграция». ФГУП «ГосНИИАС», 2012.