

Конкурс «Авиастроитель года» по итогам 2023 г.  
Номинация «За создание новой технологии»

Конкурсная работа  
**«Разработка технологии операционного моделирования  
целевого функционирования авиационных комплексов и  
формирования ситуационных информационных данных для  
полунатурного моделирования и разработки логики управления  
системами бортового оборудования»**

## **1. АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

В настоящее время средства моделирования боевых действий выделяются в число приоритетных технологий при формировании военно-технической политики и проектировании перспективных образцов авиационной техники. Высокая динамика развития вычислительной техники, технологий программирования, системотехнических основ моделирования процессов функционирования сложных технических систем создают объективные предпосылки для совершенствования математических моделей и проблемно-ориентированных имитационных систем.

Особенностью настоящего периода развития боевой авиационной техники является новая и расширенная функциональность на фоне априорной неопределенности условий применения, в том числе в ситуациях конфликтного взаимодействия с противостоящей стороной, где большую актуальность составляет разработка принципов и методов ситуационного управления системами комплекса бортового оборудования (КБО).

Существующая моделирующая база не в полной мере отражает требуемые изменения в требованиях к операционным комплексам. Традиционная методическая проблема решения задач этого класса обусловлена противоречиями между детальностью формализованного описания и трудоемкостью получения комплексного результата, что ограничивает применение регулярных методов моделирования и автоматизацию процесса взаимосвязанных исследований в предметной области.

Современные системы операционного моделирования позволяют имитировать функционирование и взаимодействие сил и средств на качественно новом уровне. Самостоятельным направлением моделирования при разработке авиационного комплекса, является комплексное использование различных инструментов исследования, включая математическое и полунатурное моделирование.

Учитывая тенденции развития авиационной техники и средств моделирования основными факторами, определяющими актуальность разработки технологии моделирования целевого применения авиационного комплекса (АК) на основе моделирующей среды, являются:

- расширение условий боевого применения АК и номенклатуры вооружения;
- рост трудоемкости процессов проектирования и разработки программного обеспечения;
- повышение требований к комплексному характеру задач проектирования и боевого управления;
- повышение технологических возможностей моделирующих комплексов за счет

прогресса в вычислительной технике и программном обеспечении.

Необходимость развития технологии построения математической моделирующей среды для воспроизведения процессов применения существующих и перспективных образцов боевой авиационной техники определяется актуальностью решения следующих задач:

- оценки вклада перспективных научно-технических решений в ТТХ и процессы целевого применения перспективных образцов;
- исследования эффективности авиационных систем вооружений в широком разнообразии потенциальных сценариев и возможных конфликтов;
- отработки принципов и методов автоматизированного боевого управления авиационными системами вооружений;
- выбора и обоснования рациональной структуры построения, состава и характеристик авиационных боевых комплексов, а также систем боевого управления этими комплексами;
- воспроизведения среды отработки и тестирования бортовых алгоритмов авиационных комплексов;
- выбора рациональной тактики боевого применения различных видов авиационно-ракетных вооружений и военной техники;
- отработки логики боевого применения бортовых систем АК с учетом возможных вариантов внешней обстановки и взаимодействия боевых средств в составе разнородных тактических авиагрупп;
- создания средств интеллектуальной поддержки экипажей как при одиночных, так и при групповых действиях;
- воспроизведения среды моделирования, в том числе в условиях двухсторонних групповых действий;
- сопровождения разработки авиационных боевых комплексов на всех этапах жизненного цикла с анализом эффективности принимаемых технических и конструкторских решений.

Указанные задачи связаны с решением вопросов по разработке архитектуры моделирующих комплексов, математических моделей объектов моделирования (ОМ), методов ситуационного моделирования, оценке точности и достоверности моделирования.

## **2. НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Цель работы – разработка технологии моделирования целевого применения АК на основе моделирующей среды (комплекса операционного моделирования), обеспечивающей возможность решения следующих задач:

- обоснование проектных и технических решений при разработке перспективных и модернизации существующих образцов авиационной техники;
- развитие способов (тактики) целевого применения АК;
- отработка логики верхнего уровня управления системами КБО;
- формирование ситуационных данных для комплекса полунатурного моделирования (КПМ).

Задачи комплекса по каждому направлению:

- при *проектировании* перспективных образцов авиационной техники:
  - оценка эффективности процессов боевого применения по принятым критериям;
  - оценка боевых возможностей АК при решении задач по назначению;
  - формирование и оценка способов применения отдельных АК и авиаформирований;
  - исследование вклада компонент АК и способов их применения в эффективность;
  - определение ключевых факторов целевой эффективности.
  
- в интересах *развития способов применения* комплексов и авиаформирований:
  - исследование вариантов организационно-тактических способов применения;
  - определение существенных факторов эффективности совместного применения разнородных сил и средств;
  - количественная оценка вариантов организации взаимодействия основных и обеспечивающих комплексов различного назначения.
  
- при поддержке *разработки логики управления КБО* тактического уровня:
  - формирование и параметрическое описание типовых тактических ситуаций;
  - отработка принципов управления АК (тактической группой) при боевом применении на этапах вылета;
  - отработка логики и алгоритмов группового взаимодействия и работы бортовых систем в конфликтных ситуациях;
  - оценка эффективности вариантов управлений КБО;

### **3. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В состав комплекса операционного моделирования (КОМ) входят функционально законченные компоненты, объединенные единым процессом решения задач исследований (рис. 3.1):

- информационная система (ИС КОМ);
- система планирования модельных экспериментов (СП КОМ);
- система моделирования (СМ КОМ);
- система визуализации и отображения результатов моделирования (СВ КОМ);

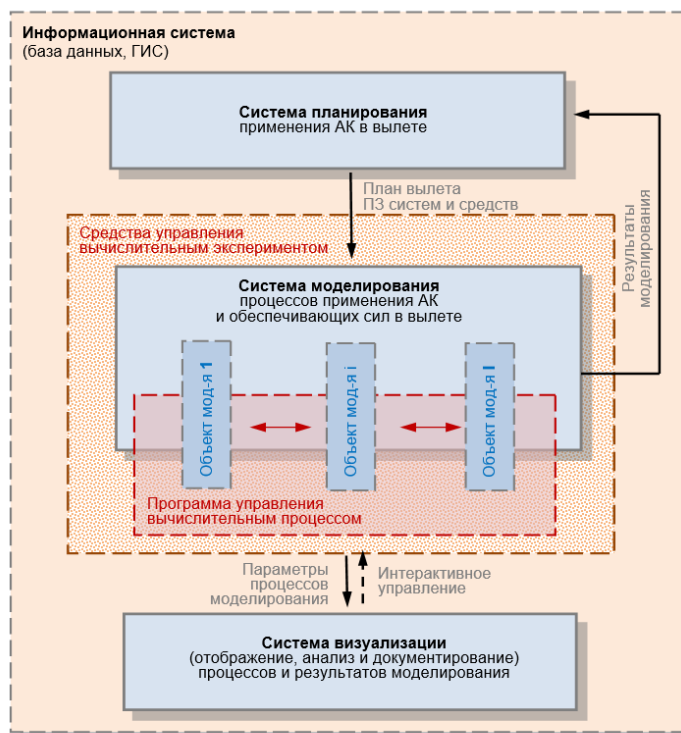


Рис. 3.1 Обобщенная структура комплекса операционного моделирования

Структурные составляющие комплекса и их взаимосвязь обеспечивают организацию и автоматизированное выполнение взаимосвязанных процедур по подготовке исходных данных, планированию модельного эксперимента, имитационному моделированию и анализу полученных результатов в интересах выполнения исследовательских задач.

### 3.1 ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

*Информационная система* предназначена для информационной поддержки процессов моделирования на этапах планирования, имитационного моделирования, а также визуализации хода и результатов модельного эксперимента.

В состав системы информационного обеспечения входят:

- единая база данных (БД);
- геоинформационная система (ГИС).

Назначением базы данных является автоматизированная подготовка, хранение и выдача массивов данных, необходимых для моделирования процессов применения АК на основных этапах вылета (рис. 3.2).

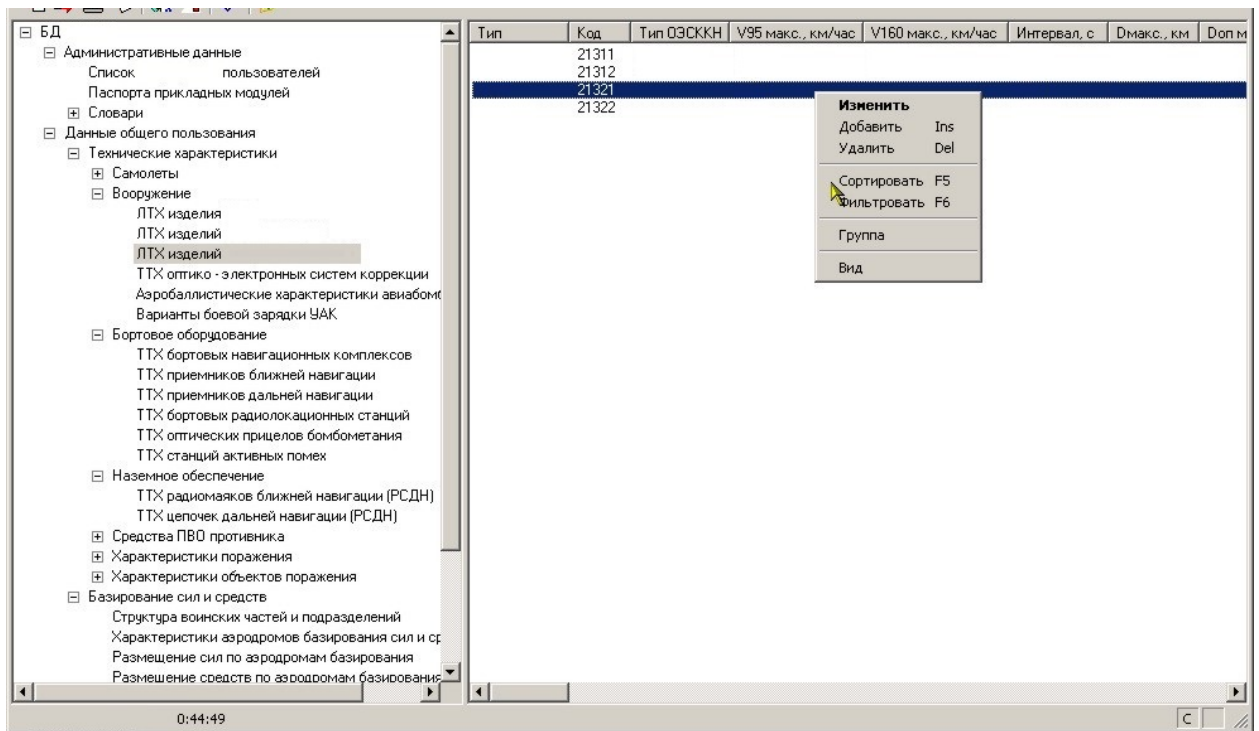


Рис. 3.2 Фрагмент интерфейса Базы данных

Основные функциональные задачи информационной системы:

- автоматизированный прием, хранение и выдача данных;
- автоматизированная подготовка исходных данных для систем КОМ;
- содержательный контроль информации;
- автоматизированная подготовка документации по исходным данным, параметрам процесса моделирования и результатам исследований;
- обеспечение информационного обмена между компонентами КОМ и внешними взаимодействующими комплексами, в том числе КПМ отработки систем КБО.

В состав необходимых для моделирования данных входят:

- характеристики целевой обстановки;
- характеристики системы базирования;
- количественно-качественный состав и дислокация сил и средств сторон;
- тактико-технические характеристики объектов моделирования;
- оперативно-тактические данные;
- характеристики аэронавигационной обстановки;
- картографическая информация.

Геоинформационная система предназначена для управления базой цифровых карт и пространственных данных, включая ввод, хранение, анализ и отображение пространственных (географических) данных. Основу программно-информационной среды ГИС составляет система управления данными и запросами к ним.

Основной компонентой информационного обеспечения ГИС является база цифровых карт местности в принятой системе обозначений и координат. Средства управления базой цифровых карт обеспечивают поддержку многоуровневой

иерархической системы цифровых карт различного типа. В качестве дополнительных данных цифровая карта содержит матрицу высот местности. Средствами ГИС также предусмотрено формирование матрицы информативности рельефа местности с требуемыми параметрами.

### **3.2 СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

*Система планирования* предназначена для разработки плана боевого применения АК в соответствии с целями и задачами исследований (варианта моделирования) и его реализации в полетных заданиях (ПЗ) самолета и бортовых систем на уровне, достаточном для воспроизведения процессов функционирования авиационных комплексов в вылете.

Функциональные задачи системы планирования (рис. 3.3):

- предварительное информационное обеспечение – контроль исходной информации и формирование требований к информационному обеспечению воздушной операции в заданном районе боевого применения (районов потенциальных целей, опорных маршрутов носителей и оружия) в интересах реализации целей моделирования;
- формирование тактической схемы действий – содержательный визуальный и количественный анализ целевой обстановки, оперативно-тактических данных, геодезической информации и располагаемых сил, и средств сторон в интересах оценки реализуемости поставленной задачи и обоснования принимаемых решений;
- разработки и оценка вариантов действий сторон – оценка реализуемости выполнения поставленной задачи, формирование вариантов плана применения основных и обеспечивающих сил и средств на этапах и фрагментах вылета с демонстрацией информации по принятым решениям и подготовкой перечня мероприятий по коррекции рассогласования плана с первоначальным замыслом;
- разработка комплексного плана – формирование вариантов совместных действий применения располагаемых сил и средств в вылете и выбор оптимального по комплексному критерию эффективности варианта, реализующего замысел исследований;
- разработка полетных заданий – формирование данных бортовой системе управления носителей и комплекса вооружения для реализации сформированного плана вылета;
- комплексная оценка реализуемости – выявление рассогласований между параметрами опорного плана и разработанными ПЗ с коррекцией опорного плана.

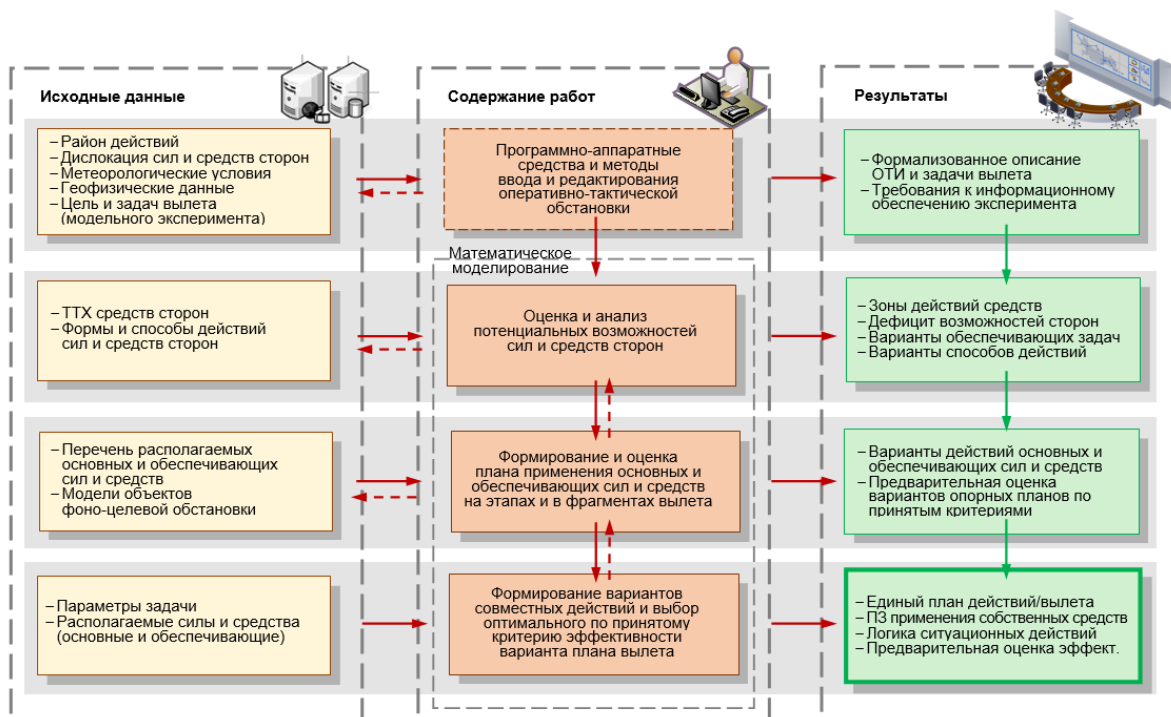


Рис. 3.3 Структурно-функциональная схема систем планирования

Планирование вылета выполняется в соответствии с заданным составом и логикой поведения объектов моделирования с оценкой результатов функционирования каждого объекта и его влияния на тактическую обстановку, увязыванием в единое целое действия тактических групп, принимающих участие в выполнении поставленной задачи.

Фрагмент интерфейса системы планирования приведен на рис. 3.4

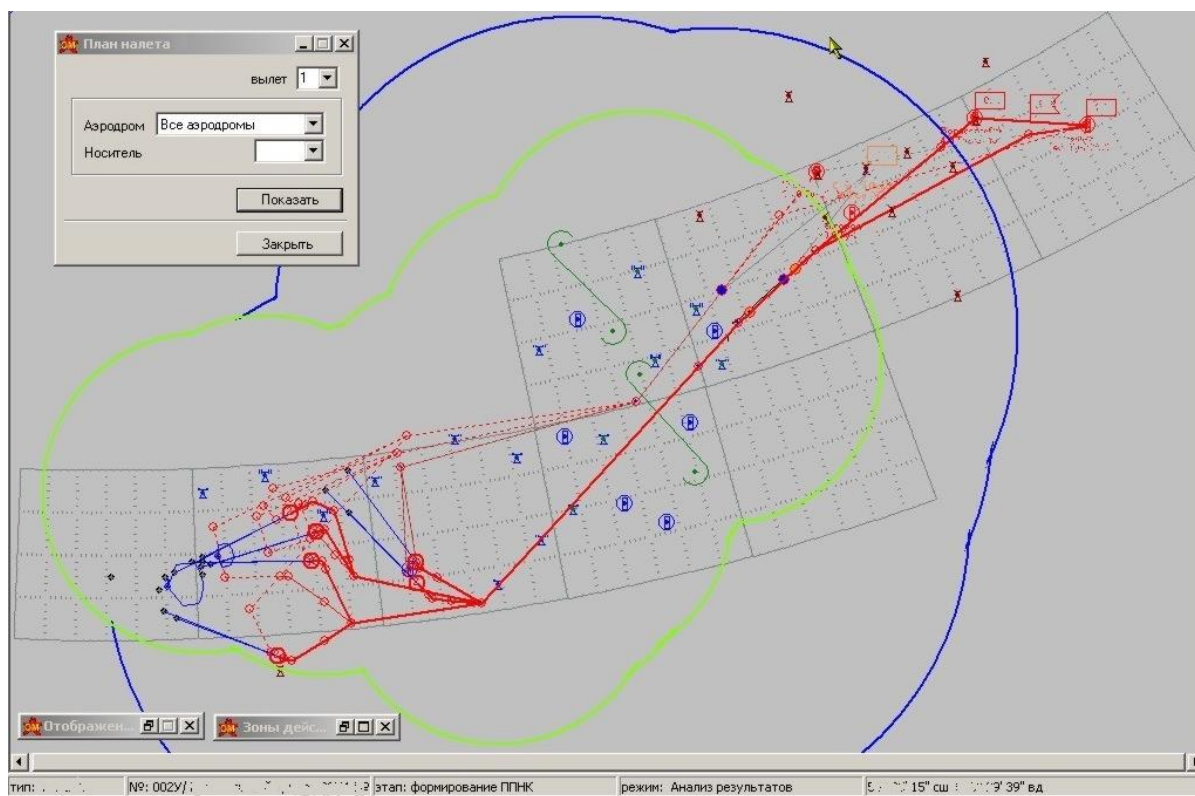


Рис. 3.4 Фрагмент интерфейса системы планирования

### 3.3 СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Система моделирования предназначена для воспроизведения процесса применения АК в соответствии с разработанным планом и расчетом статистических показателей эффективности функционирования систем, комплексов и средств противоборствующих сторон.

Функциональные задачи системы моделирования:

- воспроизведение логики и закономерностей функционирования ОМ;
- организация взаимодействия ОМ при совместном (групповом) применении;
- регистрация параметров функционирования ОМ;
- расчет показателей эффективности применения АК.
- формирование ситуационных данных для информационной поддержки КПМ.

Базовые компоненты системы моделирования:

- модели этапов и фрагментов вылета;
- модели процессов функционирования объектов сторон;
- модуль управления вычислительным процессом, регистрации параметров процессов функционирования ОМ и обработки результатов моделирования.

При воспроизведении вылета моделируются этапы и фрагменты применения АК (рис. 3.5):

- базирование;
- полет в заданный район, включая:
  - фрагменты взаимодействия основных и обеспечивающих сил и средств;
  - преодоление системы ПВО/ПРО противника;
- применение оружия.

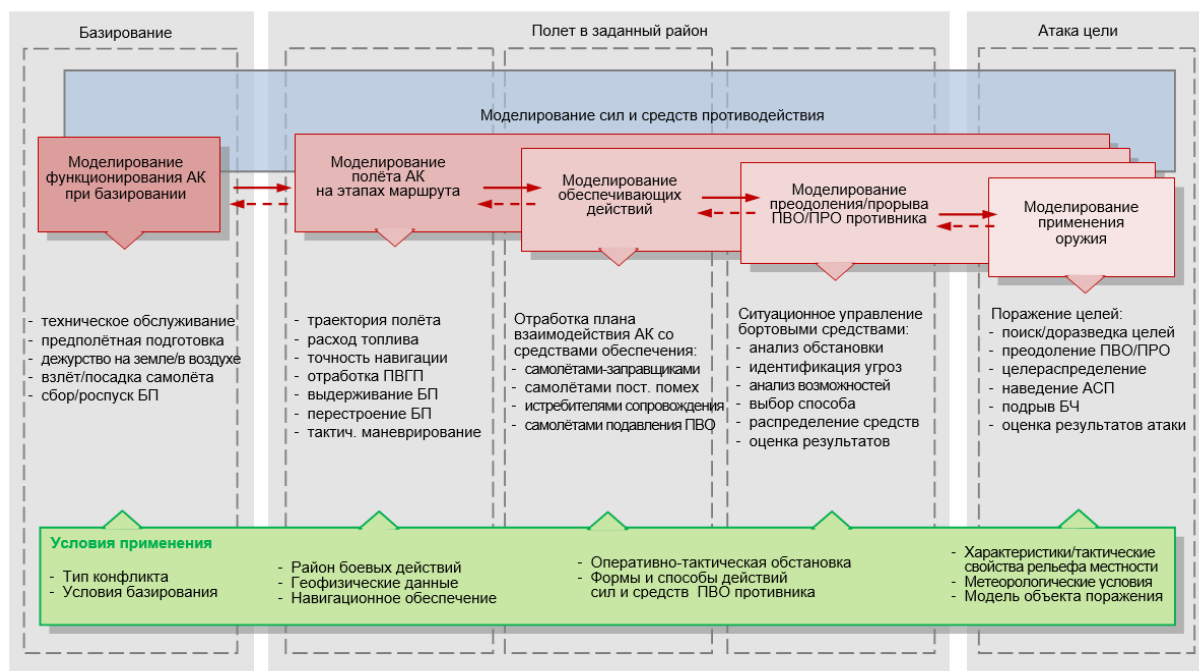


Рис. 3.5 Система математических моделей применения АК на этапах вылета

*Модель базирования* предназначена для отработки процессов функционирования АК и его подсистем в ходе технического обслуживания и при подготовке к вылету в условиях военных конфликтов различных типов.

*Траекторная модель* предназначена для имитации движения АК по опорному маршруту, заданному полетным заданием самолету-носителю (СН) в соответствии планом или в результате интерактивного изменения маршрута и программы полета в ходе моделирования. Результатом в каждый момент времени являются текущий режим полета (высота и скорость) и траекторные параметры СН в ортодромической и геоцентрической системе координат.

*Моделирование обеспечивающих действий* предусмотрено в интересах эффективного выполнения основной задачи вылета при условии дефицита функциональных возможностей основных сил и средств.

Взаимодействие основных и обеспечивающих АК различного назначения рассматривается по следующим направлениям:

- истребительное прикрытие групп самолетов;
- огневое подавление объектов системы ПВО;
- дозаправка в воздухе самолетов-носителей;
- применение средств РЭБ из зон дежурства.

*Математическая модель преодоления (прорыва) системы ПВО* предназначена для исследования процессов организации обороны и оценки боевых потерь в зависимости от основных тактико-технических характеристик и организационно-тактических решений взаимодействующих сторон.

Основу моделей ПВО противника составляют задачи моделирования бортового комплекса обороны, включая информационное обеспечение, применение и управление бортовыми средствами обороны.

Целью моделирования процесса индивидуальной и групповой обороны является оценка технических решений по комплексу вооружения, выбор рационального варианта способов группового взаимодействия, отработка логики функционирования соответствующих компонент КБО, развитие тактических решений и исследование факторов эффективности с учетом вариантов противодействия противника.

*Математическая модель применения оружия* представляет формализованное описание процесса функционирования АК в составе тактической группы на этапах выхода в заданный район, развертывания, подготовки и применении средств поражения из состава комплекса вооружения АК. Моделируемые процессы: поиск или доразведка целей, преодоление объектов ПВО/ПРО, целераспределение АК и авиационных средств поражения (АСП) в группе, наведение АСП, подрыв БЧ и оценка результатов атаки.

Объекты моделирования оперирующей стороны представлены в виде иерархической системы математических моделей (рис. 3.6), включая:

- тактическую группу – как совокупность взаимодействующих АК однородного или смешанного состава, объединенных в организационно-техническую систему в соответствии с тактическим замыслом решения задачи и логикой совместных действий;
- авиационные комплексы различного назначения (АК, ИС, СПП, СЗ) – как совокупность наземных и бортовых систем, действующие под управлением ИУС;

- бортовые системы различного назначения (ОПС, КО, БСС и КАВ) – объединяющие компоненты в соответствии с алгоритмами соответствующего модуля ФПО;
- подсистемы (БРЛС, ОЭС, СРТР, САП, АСП и др.) – как предельную структурную единицу.

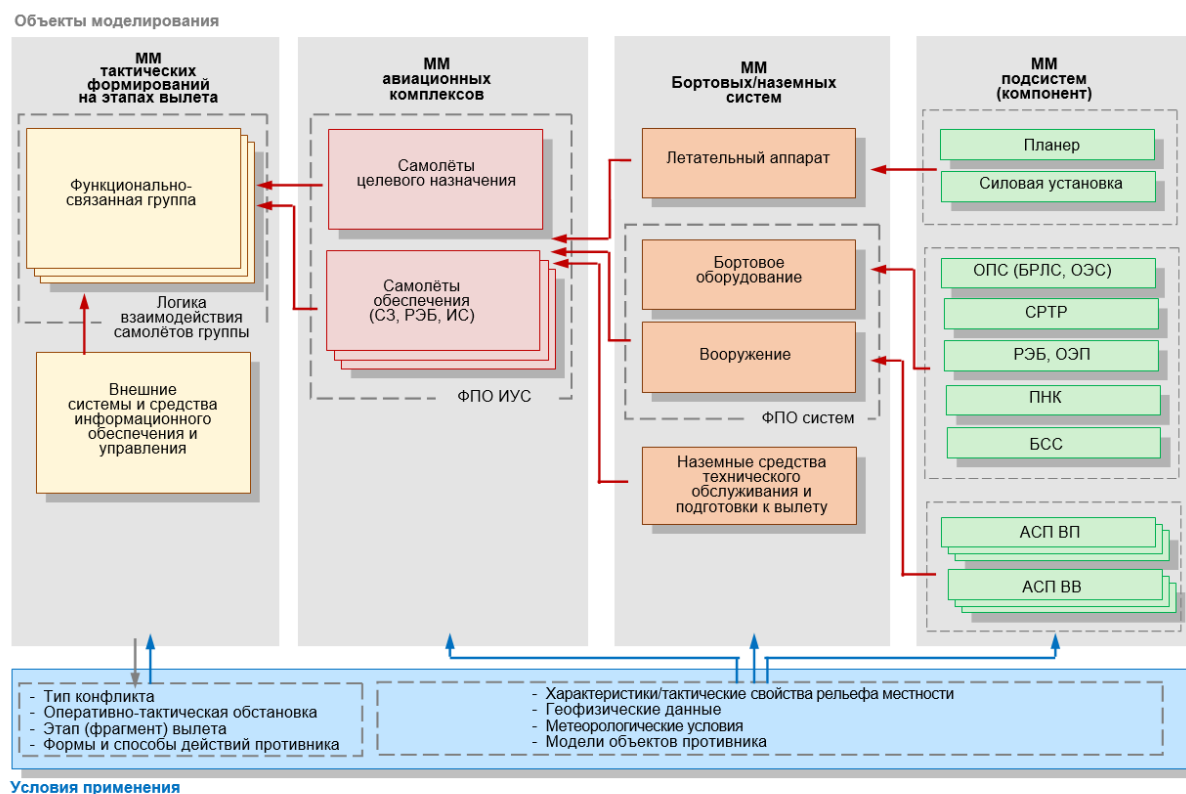


Рис. 3.6 Иерархическая система математических моделей авиационного комплекса

Модули математических моделей выполнены по схеме объекта с открытыми документированными программными интерфейсами, основанными на протоколах информационного взаимодействия, а также сервисном интерфейсе для взаимодействия с имитационной средой моделируемых объектов.

Математические модели модулей функционально-программного обеспечения (ФПО) по возможности основываются на штатной логике работы систем для обеспечения идентичности имитационного моделирования с процессами функционирования моделируемых изделий.

Модуль управления процессом моделирования предназначен для организации работы систем КОМ, возможности оперативного информационного обмена и управления ходом решения задач по единому плану для выполнения задач исследований (модельного эксперимента).

Основными задачами модуля управления являются:

- оптимизация расчетных схем, в том числе за счет распараллеливания решения частных задач;
- организация информационного взаимодействия компонент КОМ на основе регламентированного распределения функций и протоколов информационного сопряжения;

- реализация интерактивных режимов работы, в том числе с возможностью оперативной выдачи и визуального представления информации по запросу оператора в части характеристик и состояния отдельных моделируемых объектов;
- автоматизация статистических испытаний, включая управление работой компонент комплекса, реализацию заданной программы расчета, контроль и диагностику процесса моделирования;
- комплексная обработка случайных параметров с исследованием точности оценок статистических характеристик;
- организация исследований на математической модели комплекса с целью подготовки данных для полунатурного моделирования.

Фрагмент интерфейса системы моделирования приведен на рис. 3.7.

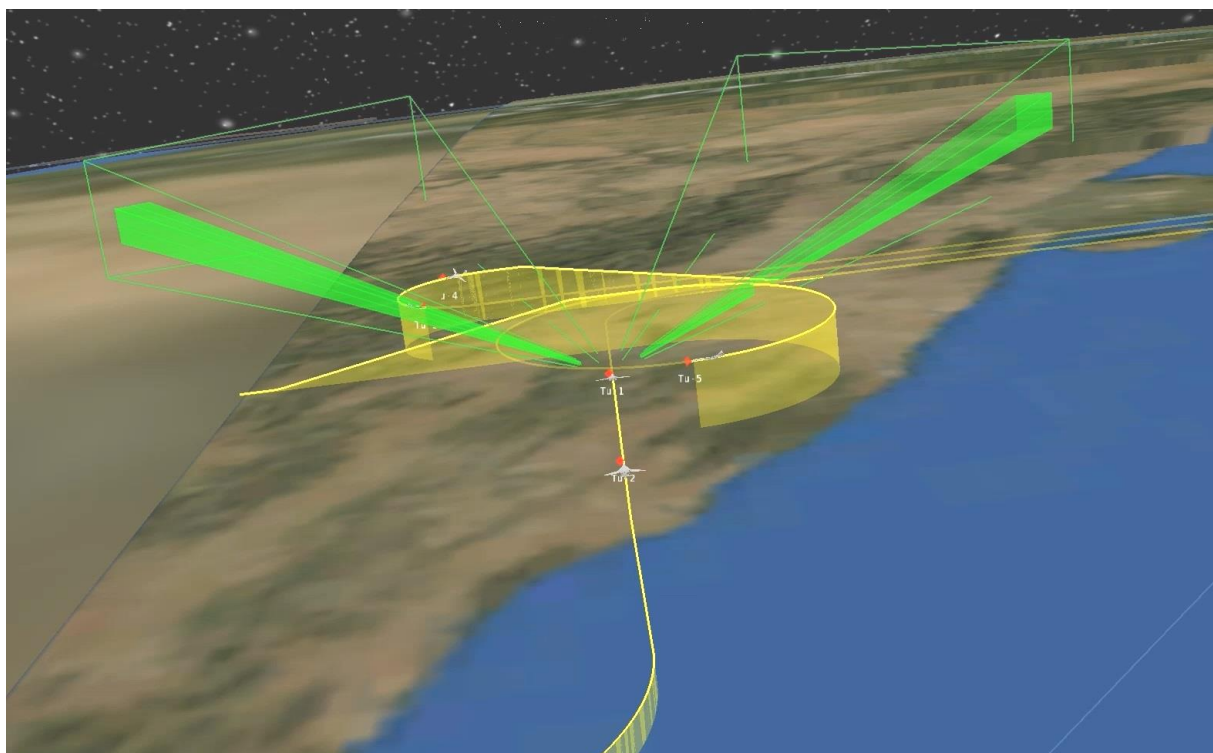


Рис. 3.7 Фрагмент интерфейса системы моделирования

### **3.4 СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Система визуализации* предназначена для отображения и содержательного контроля процессов работы с модельным экспериментом на этапах:

- подготовки постоянных данных;
- формирования плана вылета (модельного эксперимента);
- имитационного моделирования.

Результаты моделирования предоставляются в виде алфавитно-цифровой и графической информации, в том числе на картооснове:

- на этапе подготовки постоянных данных отображаются:
  - графический интерфейс базы данных;

- графические средства анализа информации;
- на этапе формирования плана вылета отображаются:
  - картографическая основа и характеристики рельефа местности в районе;
  - оперативно-тактическая обстановка, включая количественно-качественный состав, дислокацию, боеготовность и показатели боевых возможностей моделируемых объектов противника;
  - описание располагаемых сил и средств, включая количественно-качественный состав, аэродромы базирования, районы дежурства и показатели боевых возможностей комплексов основного и обеспечивающего составов;
  - план применения сил и средств сторон, включая целевую обстановку, маршруты полет, параметры и эффективностные показатели плана;
- на этапе моделирования отображаются:
  - геоинформационное картографическое сопровождение задания условий операции и расположения задействованных объектов, трехмерная динамическая демонстрация наземных и воздушных объектов;
  - процесс функционирования объектов моделирования сторон, в том числе трехмерное отображение, пространственное движение, зоны действия, фазовые координаты;
  - индикаторы соответствия текущих значений опорным показателям плана;
  - результаты действия противоборствующих сторон, включая протоколы информационного обмена моделируемых объектов, показатели моделируемых процессов, частные и обобщенные оценки результатов выполнения задачи;
  - обобщенные оценки результатов выполнения вылета в целом (действий противоборствующих сторон).

В случае трехмерного представления используются реалистичные модели объектов средств, систем и комплексов на фоне фотореалистичного отображения рассматриваемого пространства. Фотореалистичная карта местности формируется динамически автоматической загрузкой текстур соответствующего разрешения, заранее подготовленных для выбранной области пространства и хранящихся на геоинформационном сервере КОМ.

Базовые элементы системы визуализации (рис. 3.8):

- хранилище трехмерных моделей и изображений поверхности – представляет собой совокупность банка данных 3D-моделей визуализируемых объектов и набора картографических изображений или фотоснимков поверхности Земли, представленного в виде иерархической системы файлов, соответствующих разной степени детализации отображения местности;
- программные библиотеки отрисовки трехмерной графики. В качестве набора программных библиотек, отвечающих за создание и отрисовку трехмерных объектов (поверхность Земли, рельеф, модели и траектории ЛА, зоны действия информационных средств и пр.) использованы свободно распространяемые библиотеки Open Scene Graph (OSG и OSG Earth), являющиеся программным расширением базовых библиотек OpenGL и позволяющие более удобно разрабатывать эффективные приложения с трехмерной визуализацией;

- функциональные компоненты – структуры данных, классы, методы и функции манипулирования объектами моделирования и их визуальным представлением, обеспечивающие своевременную инициализацию моделей, сопоставление их идентификаторов, обновление координат и состояния динамических объектов, интерактивные функции системы визуализации;
- интерфейсные компоненты – окна приложений, служащие для отображения текущего состояния воздушной обстановки и моделируемых объектов. Каждый интерфейсный компонент представлен отдельным окном в операционной системе, запускаемым или автоматически при старте имитационной модели или вручную при выборе интересующего объекта или системы.

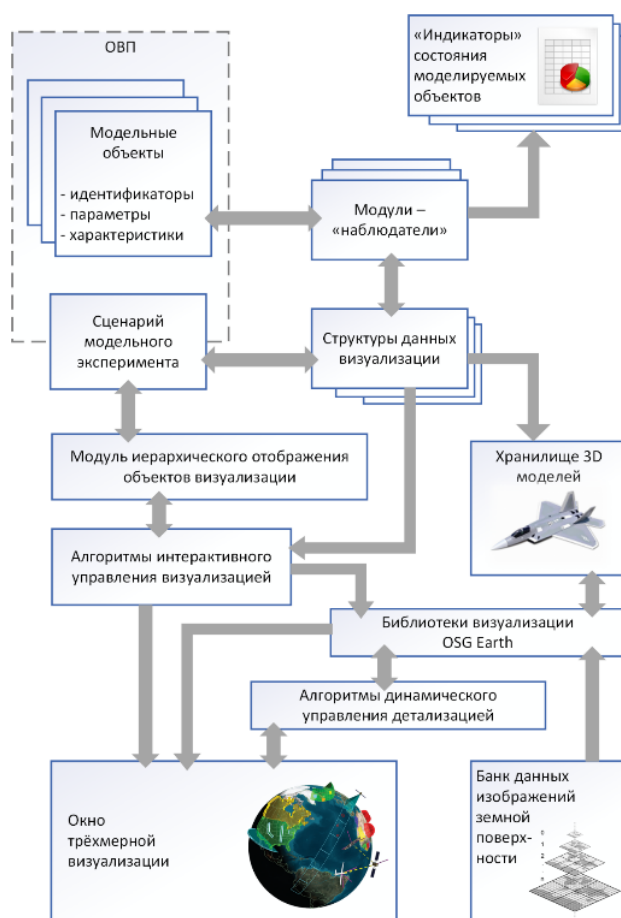


Рис. 3.8 Состав и структура системы визуализации

В ходе моделирования система визуализации взаимодействует с системой организации вычислительного процесса посредством механизма объектов-наблюдателей и общего модуля инициализации объектов в соответствии с иерархическим сценарием моделируемой операции.

### 3.5 ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Аппаратно-программные средства реализации комплекса операционного моделирования:

- Операционные системы:
  - «Astra Linux CE/SE» (серверы СПО);
  - «MS Windows 7/10»;

- Среда разработки: «Qt Creator», «Embarcadero RAD Studio»;
- СУБД: «PostgreSQL»;
- ГИС: «ГИС Панорама» (программные библиотеки, векторные карты и классификаторы);
- 3D-моделирование и визуализация:
  - OpenSceneGraph (программные библиотеки визуализации и интерактивного управления процессом моделирования);
  - Autodesk Inventor, Cinema 4D, Blender (создание трехмерных моделей).

#### **4. ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Особенности представленной технологии операционного моделирования процессов функционирования АК связаны с принятыми методическими, структурными и алгоритмическими решениями, ориентированными на выполнение следующих требований:

- снижение трудоемкости задач разработки перспективных образцов авиационной техники и отработки функционального программного обеспечения;
- воспроизведение ключевых процессов функционирования объектов моделирования;
- обеспечение комплексного характера исследований на основе интеграции математических моделей с использованием высокопроизводительной среды имитационного моделирования;
- отработка решающих правил ситуационного управления в условиях конфликтного взаимодействия сторон;
- подготовка ситуационных данных для взаимодействующих комплексов в составе единой моделирующей среды;

1. Эффективность исследований обеспечивается повышением производительности работ в цикле подготовки исходных данных, планирования модельного эксперимента, имитационном моделировании, обработки и анализе результатов.

Замкнутый технологический цикл исследований определен принятой структурой комплекса моделирования, включая состав и информационно-управляющие потоки. В состав комплекса включены системы информационного обеспечения, планирования модельного эксперимента, имитационного моделирования, визуализации и анализа результатов. Функциональную взаимосвязь систем в составе комплекса обеспечивают информационно-управляющие потоки по согласованным протоколам информационного взаимодействия.

Формирование плана модельного эксперимента, как наиболее трудоемкого этапа, осуществляется на основе технологии поэтапного интерактивного выполнения информационного обеспечения, расчетных задач и принятия решений. Формирование комплексного плана вылета и соответствующих полетных заданий, согласованных с поставленной задачей и располагаемыми ресурсами, обеспечивается итерационным процессом сравнения промежуточных результатов с исходными требованиями при возможности коррекции условий применения или подготовки рекомендаций по изменению исходных данных. Разработанный интерактивный механизм соответствует критериям информационной достаточности принятия решений на всех уровнях принятия решения.

2. Важной составляющей работы является создание иерархической системы взаимосвязанных математических моделей, обеспечивающей детальное воспроизведение процессов функционирования объектов моделирования взаимодействующих сторон во времени и пространстве их состояний. Совокупность математических моделей воспроизводит процесс функционирования АК на основных этапах вылета в условиях автономных и групповых действий, том числе при взаимодействии с обеспечивающими силами и средствами различного назначения.

С этой целью разработаны и взаимно согласованы:

- функциональные модели объектов моделирования;
- модели ситуационного управления объектами моделирования;
- модели среды имитационного моделирования.

В свою очередь, математические модели объектов моделирования представлены в виде иерархической системы математических моделей тактических групп, авиационных комплексов различного назначения, бортовых систем и соответствующих подсистем.

Для обеспечения идентичности имитационного моделирования с процессами функционирования моделируемых изделий, математические модели ситуационного управления объектами моделирования, по возможности, воспроизводят штатную логику работы систем.

3. Для интеграции математических моделей в единый комплекс операционного моделирования разработана высокопроизводительная среда моделирования с соответствующим алгоритмическим и программным обеспечением.

Реализованный принцип открытости интерфейсов позволит применять в моделирующей среде существующие и новые математические модели комплексов и систем, а также процессов их функционирования в зависимости от состава и характеристик моделируемых объектов.

Модульный способ построения программного обеспечения предоставляет возможность организации вычислительного эксперимента различного уровня сложности с использованием состава компонент комплекса, заданного в соответствии с целями и задачами расчетного эксперимента.

4. Для отработки решающих правил ситуационного управления АК в условиях преднамеренного противодействия противника, модельно-методическим аппаратом КОМ предусмотрено моделирование конфликтного взаимодействия сторон.

Моделирование двухсторонних действий воспроизводит поведение АК и средств противника, действующих автономно или в составе функционально связанных групп. С учетом отсутствия достоверных данных о логике выбора управлений противника, при моделировании двухсторонних действий применен принцип гарантированного результата, – формируется логика функционирования сил и средств противника, которая в наибольшей степени ограничивает действия оперирующей стороны.

Визуально-графические средства обеспечивают отображение процесса конфликтного взаимодействия противоборствующих сторон в ходе интерактивного моделирования операции с учетом степени информированности и субъективных факторов принятия решений.

5. Принятая методология создания КОМ ориентирована на его применение в контуре интегрированной модульной базы моделирования. Задачей КОМ при взаимодействии с КПМ отработки бортовых систем является моделирование групповых действий и воссоздание внешней обстановки, в том числе действий противника, с подготовкой и передачей КПМ соответствующих ситуационных данных.

Технология операционного моделирования целевого применения АК на основе моделирующей среды (комплекса операционного моделирования) предоставляет исключительные возможности для решения задач создания моделирующих комплексов в составе имитационных и полунатурных моделей, объединяющих преимущества традиционных направлений моделирования сложных систем. Создание таких модульных комплексов моделирования обеспечит сокращение времени решения задач проектирования, получение достоверных оценок ТТХ, оперативную отработку принятых конструктивно-технических решений и логики применения бортовых системы в условиях группового и конфликтного взаимодействия сторон.

## **ОТЧЕТНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЕЙ**

### Отчетная научно-техническая документация

1. Отчет ФАУ «ГосНИИАС» «Разработка концепции создания комплекса операционного моделирования применения АК», с. 119, 2019 г.
2. Отчет ФАУ «ГосНИИАС» «Разработка математических моделей в обеспечение исследования процессов применения АК», с. 342, 2020 г.
3. Отчет ФАУ «ГосНИИАС» «Разработка прототипа комплекса операционного моделирования функционирования авиационных комплексов», с. 451, 2021 г.
4. Отчет ФАУ «ГосНИИАС» «Комплексные исследования в интересах разработки рекомендаций по организации работы бортовых систем АК», с. 309, 2022 г.
5. Акт о результатах испытаний программного обеспечения прототипа КОМ, 2021 г.
6. Акт сдачи-приемки работы, 2023 г.

### Свидетельства государственной о регистрации программ для ЭВМ

1. Антипов А.Г., Демидов С.Л., Малафеев И.В., Порывкин Ю.П., Селезнев А.Г., Степанский М.А., Фонин Р.О. ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021614509, 25.03.2021. Заявка № 2021613324 от 16.03.2021.
2. Антипов А.Г., Демидов С.Л., Малафеев И.В., Селезнев А.Г. ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПО КРИТЕРИЮ ВЫСОКОГО УРОВНЯ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ИХ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ И С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022613210, 01.03.2022. Заявка № 2022612019 от 15.02.2022.

### Публикации соискателей по теме представленной работы

1. Демидов С.Л. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВЫХ К КОНТРОМЕРОПРИЯТИЯМ ПРОТИВНИКА СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЗАДАЧЕ ПОРАЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ НАДВОДНЫХ ЦЕЛЕЙ // Юбилейная всероссийская научно-техническая конференция "Авиационные системы в XXI веке" – М.: ГНЦ РФ ФГУП «ГосНИИАС», 2016, с. 15.
2. Демидов С.Л. ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТ УДАРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БОЕВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ // Юбилейная всероссийская научно-техническая конференция "Авиационные системы в XXI веке" – М.: ГНЦ РФ ФГУП «ГосНИИАС», 2016, с. 22.

3. Жеребин, С.Л. Демидов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОБОСНОВАНИИ ОБЛИКА АВИАЦИОННЫХ БОЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ // Труды III Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2018.

4. А.М. Жеребин, С.Л. Демидов МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ БОЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ // Труды III Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2018.

5. Демидов С.Л., Селезнев А.Г. ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОБОРОНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ // Труды IV Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2019. С. 28-31.

6. Селезнев А.Г., Демидов С.Л. МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУППОВЫХ ДЕЙСТВИЙ // Труды IV Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2019

7. Демидов С.Л., Селезнев А.Г. МОДЕЛЬНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ ОБОРОНЫ САМОЛЕТОВ В ВЫЛЕТЕ // Труды IV Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2020. С. 32-33.

8. А.М. Жеребин, Демидов С.Л. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОБОСНОВАНИЯ ОБЛИКА И ТИПАЖА АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ // В книге: Авиационные системы в XXI веке. Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2022. С. 27-28.

9. Малафеев И.В., Порывкин Ю.П., Русак М.А. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ АВИАЦИОННО-РАКЕТНЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ // Труды III Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 21-22 сентября 2017 г. с 39-41.

10. Малафеев И.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ // Сборник тезисов докладов III Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 21-22 ноября 2018 г.

11. Малафеев И.В. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПОДДЕРЖКУ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ // Труды IV Всероссийской научно-технической конференции «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» – Москва, ФГУП «ГосНИИАС», 2019.

12. Малафеев И.В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АЛГОРИТМАХ НАВЕДЕНИЯ РАКЕТ // В книге: Авиационные системы в XXI веке. Тезисы докладов юбилейной Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 2022. С. 42-43.

13. Ивенин И.Б., Малафеев И.В., Свободин В.С., Скрипниченко Ю.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТА В ПОДДЕРЖКУ ЗАДАЧ ВНЕШНЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ // В книге: МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ. Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 2023. С. 29-30.

14. Скрипниченко Ю.С., Никифоров Н.С., Левков В.Г., Овчинников Д.И. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЭКИПАЖЕМ АБК НА ЭТАПЕ ЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ ТЕСТИРОВАНИЯ СППР // В сборнике: Моделирование авиационных систем. материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2013. С. 41.

15. Устенко И.М., Шутов В.И., Топоров Н.Б., Скрипниченко Ю.С. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ (ОЭС) // В сборнике: АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В XXI ВЕКЕ. Сборник докладов. 2017. С. 230-238.

16. Васильев С.С., Скрипниченко Ю.С., Филатов И.И. СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНЕСЕНИЯ УЩЕРБА НАЗЕМНЫМ ЦЕЛЯМ // В сборнике: АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В XXI ВЕКЕ. Сборник докладов. 2017. С. 162-168.

17. Скрипниченко Ю.С., Овчинников Д.И., Ермолаева Е.А. СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ГРУППИРОВКИ АВИАЦИОННЫХ БОЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ // В книге: Авиация и космонавтика – 2017. тезисы. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2017. С. 59-60.