

ДЬЯЧУК АННА КОНСТАНТИНОВНА

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ АВИАЦИИ
В ОПЕРАЦИЯХ ПОРАЖЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ГРУПП**

Специальность 05.13.01

“Системный анализ, управление и обработка информации”

(Авиационная и ракетно-космическая техника)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

2011

Работа выполнена на кафедре “Системное проектирование авиаконструкций” Московского авиационного института (государственного технического университета, МАИ).

Научный руководитель: доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Евдокименков Вениамин Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бобронников Владимир Тимофеевич

доктор технических наук, профессор
Бухалев Вадим Алексеевич

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие “Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем”
(ФГУП ГосНИИАС)

Защита диссертации состоится «16» июня 2011 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 в Московском авиационном институте (государственном техническом университете, МАИ) по адресу: 125993, А-80, ГСП-3, г.Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Главный административный корпус, зал заседаний Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского авиационного института (государственного технического университета, МАИ).

Отзывы, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4, Ученый совет МАИ.

Автореферат разослан «12» мая 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.125.12,
к.т.н., доц. В.В. Дарнопых

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия в нашей стране и за рубежом повышенное внимание уделяется созданию систем автоматизированного планирования применения летательных аппаратов (ЛА) и их средств поражения (СП). Это обусловлено следующими факторами:

- 1) большим количеством и разнообразием типов ЛА, привлекаемых для выполнения целевых задач по наземным, морским или воздушным целям. В состав авиационных тактических подразделений входят ударные ЛА, решающие основную задачу, и обеспечивающие ЛА, выполняющие функции: доразведки и целеуказания, демонстративных действий, сопровождения или прикрытия, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и др.;
- 2) разнообразием современных СП, которыми оснащаются ЛА;
- 3) присутствием в процессе планирования неопределенностей, порождаемых как недостаточной априорной информированностью о целевых объектах, так и активным помеховым и огневым противодействием со стороны противника.

Комбинация всех вышеперечисленных факторов порождает огромное разнообразие вариантов сценариев применения авиационных групп, анализ которых специалистом без внедрения средств автоматизации в процесс планирования невозможен [Джанджгава Г.И. и др. Системы планирования действий авиации и подготовки полетных заданий для авиационных комплексов в разработках Раменского приборостроительного конструкторского бюро //Тр. юбилейной научно-технической конф. “Авиационные системы в XXI веке”. Т.1. М.: ФГУП ГосНИИАС, 2006. С. 417–419].

Сложности, связанные с планированием действий подразделений авиации различного тактического назначения, в наибольшей степени проявляются в операциях против корабельных групп (КГ), включая авианесущие многоцелевые группы (АМГ), задача поражения которых является одной из основных для авиации на морских (океанских) театрах военных действий (ТВД). Современная АМГ представляет собой чрезвычайно сложную и многофункциональную динамическую систему, объединяющую объекты, решающие различные функциональные задачи. Планирование действий сил и средств авиации при нанесении удара по АМГ требует разработки наиболее предпочтительного (с точки зрения принятого критерия оптимальности) сценария их применения, предполагающего пространственно-временную координацию (траекторную, информационную, огневую) действий членов авиационной группировки. Наиболее полно такая координация может быть обеспечена за счет использования комплекса имитационных математических моделей, максимально адекватно описывающих пространственно-временное состояние всех ЛА, условия и результаты применения СП, помеховую обстановку, корабельные и авиационные средства АМГ, функционирование средств освещения воздушной (СОВО) и надводной обстановки, и огневого противодействия в составе АМГ. Однако совершенно очевидно, что анализ даже одного

варианта действий подразделений авиации в указанной операции с помощью комплекса имитационных математических моделей такой сложности и объема потребует колоссальных вычислительных затрат. В связи с этим, подобный комплекс имитационных моделей целесообразно рассматривать не как инструмент генерации разнообразных вариантов применения авиационных групп, а как средство глубокого анализа ограниченного числа рациональных вариантов планирования.

С учетом вышесказанного, чрезвычайно *актуальной* является задача разработки конструктивных алгоритмов и реализующего их программного комплекса, как компоненты планирования действий авиации против АМГ, основу которой составляет система агрегированных математических моделей операций поражения КГ. Главная цель этой компоненты состоит в том, чтобы помочь лицам, принимающим решения (ЛПР) в задаче планирования, оперативно выделить ограниченный набор наиболее предпочтительных (в смысле выбранного критерия) вариантов применения авиационных групп для их последующего детального анализа с привлечением комплекса имитационных моделей. Данная система планирования предназначена для проектных организаций, занимающихся разработкой программного инструментария для формирования облика образцов авиационной техники. В настоящее время в отечественной литературе отсутствуют аналоги предложенной интерактивной автоматизированной системы планирования применительно к операции нанесения удара по АМГ.

Цель работы – повышение оперативности планирования действий авиации различного тактического назначения, достоверности, объективности и точности его результатов путем использования интерактивной автоматизированной системы планирования как компоненты программного комплекса имитационных математических моделей применительно к операции поражения АМГ.

Задачи исследования. Для достижения сформулированной цели диссертационной работы требуется решение комплекса теоретических и практических задач, главными из которых являются:

- обоснование и формализация критериев оценки предпочтительности вариантов применения авиационных групп в рассматриваемой операции;
- разработка методики планирования действий авиационных подразделений различного тактического назначения на основе декомпозиции операции нанесения удара по АМГ в виде комплекса целевых подзадач;
- разработка агрегированных математических моделей, составляющих основу методики планирования, обеспечивающих приемлемый компромисс между сложностью моделей и точностью результатов моделирования;
- программная реализация разработанных моделей и их интеграция в структуру интерактивной компоненты планирования;
- интеграция разработанной компоненты планирования в состав программного комплекса имитационных математических моделей операций поражения КГ силами и средствами авиации;

– оценка эффективности разработанной интерактивной компоненты планирования с использованием комплекса имитационных моделей.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач применяются: математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, теории вероятностей и математической статистики, методы оптимизации сложных систем, методы оптимального распределения ресурсов, методы системного анализа и синтеза сложных систем, технология объектно-ориентированного программирования на языках программирования высокого уровня, методы математического и имитационного моделирования.

Объект исследования – процесс планирования действий авиации в операциях поражения КГ.

Предмет исследования – интерактивная автоматизированная система планирования действий авиации применительно к операции поражения АМГ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- сформулирована математическая постановка задачи планирования действий авиации применительно к операции поражения АМГ как задачи математического программирования, использующей в качестве критерия оптимальности стоимость операции, а в качестве ограничений – объемы потерь атакующей авиационной группировки и АМГ;
- проведен анализ операции нанесения удара по АМГ силами авиации и предложен вариант декомпозиции задачи планирования действий авиации в виде комплекса взаимосвязанных частных подзадач;
- на основе проведенной декомпозиции разработана методика решения задачи планирования боевых действий авиационных групп различного тактического назначения в операции нанесения удара по АМГ в условиях интенсивной ПВО;
- разработаны агрегированные математические модели, составляющие основу предложенной методики планирования, обеспечивающие приемлемую на практике точность результатов моделирования операции нанесения удара по АМГ;
- выполнена программная реализация разработанных моделей и их интеграция в структуру интерактивной автоматизированной системы планирования;
- произведена интеграция разработанной компоненты автоматизированного планирования в состав комплекса имитационных математических моделей операций поражения КГ силами и средствами авиации;
- проведено имитационное моделирование сформированных сценариев действий авиации, подтвердившее, что конструктивное решение задачи планирования применительно к сложной, многокомпонентной модели операции поражения АМГ может быть достигнуто путем создания интерактивной автоматизированной системы планирования, позволяющей ЛПР выделить ограниченный набор предпочтительных вариантов применения сил и средств авиации на основе агрегированных моделей, описывающих базовые этапы операции.

Практическая значимость

1. Разработанная автоматизированная компонента планирования и комплекс имитационных математических моделей использованы в процессе выполнения 3-х НИР и одной ОКР.
2. Комплекс имитационных математических моделей и результаты, полученные в диссертационной работе, применяются в учебном процессе кафедры “Системное проектирование авиакомплексов” Московского авиационного института (государственного технического университета).
3. Представленные в диссертационной работе имитационные математические модели применяются для:
 - обоснования тактико-технических требований к перспективным пилотируемым и беспилотным АБК, используемым в операциях поражения КГ;
 - обоснования рационального облика и типажа противокорабельного оружия;
 - подготовки и планирования боевых действий ударных и обеспечивающих групп авиации, выполняющих задачу поражения КГ ;
 - выбора рациональных способов действий сил и средств авиации при преодолении системы ПВО КГ;
 - комплексного анализа эффективности сил и средств системы ПВО кораблей и корабельных групп.

Практическое применение результатов диссертационной работы в перечисленных выше прикладных областях подтверждено соответствующими актами о внедрении в учебный процесс кафедры “Системное проектирование авиакомплексов” МАИ, а также в практическую и научную деятельность Федерального государственного унитарного предприятия «Федеральный научно-производственный центр «Прибор» (ФГУП ФНПЦ «Прибор»).

На защиту выносятся следующие основные положения:

- математическая постановка задачи планирования действий сил и средств авиации применительно к операции поражения АМГ;
- методика планирования действий авиационных подразделений на основе декомпозиции операции поражения АМГ в виде комплекса целевых подзадач;
- комплекс агрегированных математических моделей, составляющих основу методики, и их программная реализация в составе интерактивной автоматизированной системы планирования;
- интеграция интерактивной автоматизированной системы планирования в состав программного комплекса имитационных математических моделей операций поражения КГ силами и средствами авиации;
- результаты имитационного моделирования, подтверждающие оперативность и достоверность проведенного планирования.

Достоверность научных положений и результатов. Изложенные в работе положения, выводы и рекомендации подтверждены теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведенными на комплексе имитационных математических моделей.

Апробация работы и публикации. Основное содержание работы докладывалось и обсуждалось на:

- II-й Российско-китайской международной конференции по проектированию аэрокосмической техники (Москва, МАИ, 2007 г.);
- VIII-й Всероссийской юбилейной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов» (Москва, МАИ, 2010 г.);
- совместном научном семинаре кафедр “Системное проектирование авиакomплексов”, “Системный анализ и управление” и “Информационно-управляющие комплексы ЛА” МАИ.

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из которых 2 – статьи в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК Минобрнауки России, одно учебное пособие с грифом «Учебно-методического объединения высших учебных заведений РФ по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса», 3 публикации в сборниках трудов конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из списка принятых сокращений, введения, 4-х глав, заключения, приложения и списка литературы из 71 наименования. Работа содержит 163 страницы печатного текста, 53 рисунка, 3 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, определены цели и задачи исследований, раскрывается новизна и практическая значимость темы диссертационной работы.

В **первой главе** показаны роль и место проектируемой интерактивной автоматизированной системы планирования в структуре программного комплекса, проведен анализ технических аспектов операций поражения КГ силами и средствами авиации различного тактического назначения, приведена математическая постановка задачи планирования действий авиационных групп в данной операции.

Интерактивная автоматизированная система планирования является инструментом для создания планов (сценариев) полномасштабных операций с привлечением сил и средств авиации, а также других объектов противостоящих сторон, принимающих участие в операции поражения КГ. Функциональная схема, показывающая роль и место данной системы в структуре программного комплекса решения задач планирования и имитационного моделирования, представлена на рис. 1.

Разрабатываемая система функционирует в тесном диалоге с ЛПР, которое с использованием элементов подробной базы данных (содержащей тактико-технические характеристики (ТТХ) всех объектов эксперимента и их подсистем, карты районов ТВД с высотами рельефа, параметры среды, предварительно насчитанные табличные данные и зависимости для работы математических моделей и т.п.) в указанной компьютерной среде формирует набор вариантов планирования.



Рис.1. Функциональная схема взаимодействия ЛПР с компонентами программного комплекса имитационных математических моделей операций поражения КГ

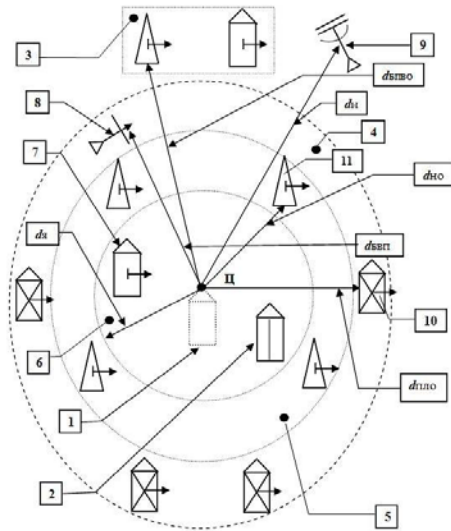
Эти варианты подкрепляются предварительными оценками затрат на выполнение боевой задачи, в качестве которых принимается суммарная стоимость утраченных сил и средств авиации при условии обеспечения заданного уровня их эффективности.

Рассмотрена техническая постановка задачи поражения АМГ, типовой боевой порядок которой приведен на рис.2, силами и средствами авиации на морском ТВД. Задана оперативно-тактическая обстановка, которая содержит следующие основные компоненты [Оркин Б.Д., Оркин С.Д. Имитационное моделирование боевого функционирования палубных истребителей, зенитных ракетных и артиллерийских комплексов корабельных групп при решении задач ПВО.– М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. 700 с.]

1. Оперативно-тактическую обстановку по АМГ, включающую: состав и расположение сил и средств АМГ; состав, тип, ТТХ системы ПВО АМГ, которая объединяет корабельные и авиационные СОВО, палубную истребительную авиацию, зенитные средства ПВО, систему комплексов и средств РЭБ.

2. Оперативно-тактическую обстановку по силам и средствам авиации, выполняющей задачу поражения АМГ, в том числе: координаты и ТТХ аэродромов взлета и посадки; структурный состав тактических авиационных групп, участвующих в операции (ударные группы (УГ); группы радиоэлектронной борьбы (ГРЭБ); группы доразведки и целеуказания (ГДРЦУ); группы демонстративных действий (ГДД); группы истребителей сопровождения (ИС) и прикрытия); типы, основные летно-технические характеристики ЛА, входящих в состав перечисленных групп, состав и ТТХ их радиоэлектронных средств и вооружения).

Обозначения на рис.2:



- 1 – транспорт снабжения типа “Сахраменто”;
 2 – авианосец типа “Нимитц”;
 3 – барьер ПВО;
 4 – кольцо кораблей противолодочного охранения;
 5 – кольцо кораблей непосредственного охранения;
 6 – ядро АМГ;
 7 – крейсер УРО типа “Тикондерога”;
 8 – боевой воздушный патруль;
 9 – самолет ДРЛОУ типа E-2C;
 10 – эсминец типа “Спруенс”;
 11 – эсминец УРО типа “Орли Берк”;
 Ц – центр ордера.

Рис.2. Боевой порядок АМГ

3. Параметры задачи, к которым относятся: тип поражения и требуемый ущерб кораблям (список возможных поражающих комбинаций кораблей, отвечающих требуемому уровню ущерба АМГ); среднее, необходимое для поражения по заданному типу, число попаданий применяемого СП в корабль каждого класса; максимально допустимый уровень потерь в процентах от общей численности ЛА, принимающих участие в операции нанесения удара; нормативы поражения каждого корабля АМГ.

Требуется сформировать оптимальную стратегию S^* (оптимальный план) действий авиационной группировки в данной операции, описываемую блочным вектором, компоненты которого конкретизируют:

- 1) сектора и азимуты направлений удара для групп авиации;
- 2) количество, состав и маршруты движения УГ для каждого направления удара с указанием конкретных объектов удара, способы и приемы применения противокорабельных ракет (ПКР);
- 3) численность и состав групп самолетов РЭБ, выполняющих помеховое прикрытие из боевых порядков и зон барражирования;
- 4) количество, состав и маршруты полета групп истребителей прикрытия;
- 5) количество, состав и маршруты движения групп истребителей для поражения самолета дальнего радиолокационного обнаружения и управления (ДРЛОУ);
- 6) сектора и направления удара для ГДД, их количественный состав и способ помехового прикрытия;
- 7) количество и состав ГДРЦУ, вспомогательных УГ для уничтожения или подавления кораблей радиолокационного дозора, моменты нанесения ударов;
- 8) количество, состав, характеристики боевых порядков объединенных

авиационных групп, скомплектованных из групп различного тактического назначения для каждого направления удара, выполняющих полет по общему маршруту;

9) времена взлета и временные смещения для групп авиации.

В качестве критерия оптимальности плана (стратегии S) действий авиации в диссертационной работе принят следующий:

$$\begin{cases} C_a(S) \rightarrow \min_{S \in \omega_S}; \\ U_a(S) \leq U_{a.3}; \\ U_{КГ}(S) \geq U_{КГ.3} \end{cases} \quad (1)$$

где $U_{КГ}(S)$ – фактический ущерб КГ в операции нанесения авиационного удара; $U_{КГ.3}(S)$ – заданный норматив поражения КГ; $U_a(S)$ – фактические потери авиации, выполняющей задачу поражения КГ; $U_{a.3}$ – максимально допустимый уровень потерь авиации; ω_S – множество допустимых стратегий действий авиации, где для каждой стратегии $S \in \omega_S$

$$C_a = \sum_{j=1}^{J_{AK}} \Delta N_{\Sigma_j}^{AK} C_{1j}^{AK} + \sum_{j=1}^{J_{АСП}} \Delta N_{\Sigma_j}^{АСП} C_{1j}^{АСП} + N_{\Sigma}^{\text{топ}} C_1^{\text{топ}}, \quad (2)$$

C_a – суммарная стоимость сил и средств авиации, утрачиваемых в ходе выполнения операции;

$J_{AK}, J_{АСП}$ – число типов авиационных комплексов (АК) и количество типов авиационных средств поражения (АСП), используемых при выполнении операции;

$\Delta N_{\Sigma_j}^{AK}, C_{1j}^{AK}$ – суммарные потери АК j -го типа в операции и стоимость одного АК, $j \in \overline{1, J_{AK}}$;

$\Delta N_{\Sigma_j}^{АСП}, C_{1j}^{АСП}$ – суммарное число АСП j -го типа, израсходованных при выполнении операции и утраченных в результате гибели носителей, и стоимость одного АСП j -го типа, $j \in \overline{1, J_{АСП}}$;

$N_{\Sigma}^{\text{топ}}, C_1^{\text{топ}}$ – суммарное количество топлива, используемого в ходе выполнения операции, и стоимость единицы топлива.

Таким образом, целью планирования является формирование оптимальной стратегии действий авиации, обеспечивающей минимум суммарной стоимости утрачиваемых в ходе выполнения операции поражения АМГ ресурсов (2) с одновременным выполнением ограничений по ущербам сторон (1). Решение этой задачи усложняется необходимостью учета в процессе оптимизации данного критерия огромного количества факторов, определяющих изменение состояний всех участников операции в пространстве и во времени.

Дополнительные трудности обусловлены игровым характером задачи, порождаемым действиями АМГ (множеством допустимых стратегий ω_R).

С учетом вышесказанного, в диссертационной работе предложен вариант декомпозиции оптимизационной задачи (1), опирающийся на следующие основные предположения и допущения:

- корабли АМГ, как показывает практика, являются медленно движущимися по сравнению с объектами авиации целями, а продолжительность всей операции составляет не более часа, поэтому огневое воздействие средств ПВО АМГ *при планировании* можно с приемлемой степенью подробности учесть с помощью картины зон поражения, построенных для заданных характеристик авиации ПВО и зенитных ракетных комплексов (ЗРК) зональной обороны, а также параметров полета атакующей авиационной группировки, в условиях информированности и РЭБ, характеризуемых сечениями информационных полей СОВО КГ. Пересечения указанных зон определяют конфигурацию гарантированной области, попадая в которую, объекты авиации атакующей стороны с высокой вероятностью могут быть обнаружены и обстреляны противником. Данная картина принимается *неизменной* в течение всего *процесса планирования* рассматриваемой операции;
- решение задачи оптимального планирования проводится на конечном множестве вариантов сценариев действий авиационной группировки, формируемых ЛПР с использованием информационных данных и интерактивных возможностей, предоставляемых автоматизированной системой планирования $S_i, i = \overline{1, k}$;
- подробность представления некоторых базовых объектов в математических моделях формирования сценариев по сравнению с имитационным моделированием значительно меньше и ограничивается заданием их агрегированных характеристик.

В рамках сформулированных предположений оптимизационная задача (1) представляет собой задачу математического программирования, целью которой является минимизация затрат на проведение операции при условии нанесения ущерба противнику не ниже нормативного и обеспечения уровня потерь атакующей авиации не выше допустимого. Решение поставленной задачи в диссертационной работе достигнуто на основе последовательного решения комплекса взаимосвязанных подзадач (рис.3).

В *главе 2* представлена методика решения задачи планирования действий авиации в операции поражения АМГ и математическая реализация составляющих ее алгоритмов. Рассмотрены принципы формирования объединенных авиационных групп из групп различного тактического назначения. Изложенная в диссертационной работе методика включает последовательное решение комплекса следующих частных задач (рис.3).

Задача I. Планирование действий ударных авиационных групп.

Результатом решения этой задачи является определение: 1) секторов удара, аэродромов взлета и посадки для ЛА УГ; 2) количества направлений ударов для УГ и азимутов для выбранных направлений ударов; 3) боевых нарядов

ПКР, обеспечивающих при выбранных для каждого направления удара способе применения (высота и скорость носителя в момент пуска; вид траектории наведения, которому соответствуют высотный профиль полета ПКР к цели и максимальная дальность ее пуска) нанесение заданного уровня ущерба АМГ с учетом огневого и помехового противодействия со стороны ее системы ПВО (истребительная авиация, ЗРК, зенитные артиллерийские комплексы (ЗАК), авиационные и корабельные средства РЭБ); 4) оптимальных по критерию выживаемости от средств ПВО АМГ и реализуемых по располагаемому запасу топлива маршрутов и высотно-скоростных профилей полета ЛА УГ с определенными вариантами боевой загрузки, включая расходуемые средства РЭБ; 5) потребных боевых нарядов для ЛА УГ для каждого направления удара с учетом результатов решения задач 1) – 4).

Для расчета располагаемых секторов удара сначала определяются тактические радиусы R_T путем моделирования полета ударного ЛА конкретного типа с начальным запасом топлива m_0 и выбранными пользователем вариантами боевой загрузки, включая расходуемые средства РЭБ, подвесные топливные баки (ПТБ), по каждому из заданных высотно-скоростных профилей.

Запас топлива m_{R_T} , который при этом расходуется, вычисляется по следующей формуле:

$$m_0 = (2 - k_{гр}) \left(m_{R_T} + \sum_{i=1}^7 m_i \right) + m_{з.м} + m_{нв},$$

где m_0 – начальный запас топлива, включая топливо в ПТБ; $m_1 \div m_7$ – затраты топлива соответственно на построение, перестроение боевого порядка, маневрирование при выполнении атаки цели и выходе из нее, устранение навигационных ошибок, роспуск боевого порядка, полет по кругу перед посадкой, возможные изменения обстановки (гарантийный запас); $m_{з.м}$ – затраты топлива, расходуемые на запуск двигателя и маневрирование (опробование и руление) на взлетно-посадочной полосе; $m_{нв}$ – невырабатываемый остаток топлива; $k_{гр}$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода топлива при полете ЛА в составе группы и сложность метеоусловий. Для одиночного самолета в простых метеоусловиях $k_{гр} = 1$. Величина $k_{гр}$ уменьшается с увеличением численного состава группы и ухудшением метеоусловий ($k_{гр} \leq 1$, его величина ограничена снизу). Рекомендации по заданию значений m_i , $i = \overline{1,7}$, а также, $m_{з.м}$, $m_{нв}$ приводятся в “Руководствах по летной эксплуатации” данного типа ЛА или его прототипа.

Далее оцениваются максимальные дальности пуска ПКР $D_{п\max}(H, V, KH)$, входящих в варианты боевой загрузки ударного самолета, в зависимости от высоты H , скорости V носителя в момент пуска и вида траектории KH наведения ПКР, задаваемой при пуске.

Размеры располагаемого сектора удара для выбранных условий применения ЛА и ПКР определяются на основе геометрического пересечения фигур, построенных с учетом координат аэродромов взлета и посадки групп, положения центра масс авианосца и величин R_T и $D_{п\max}$.

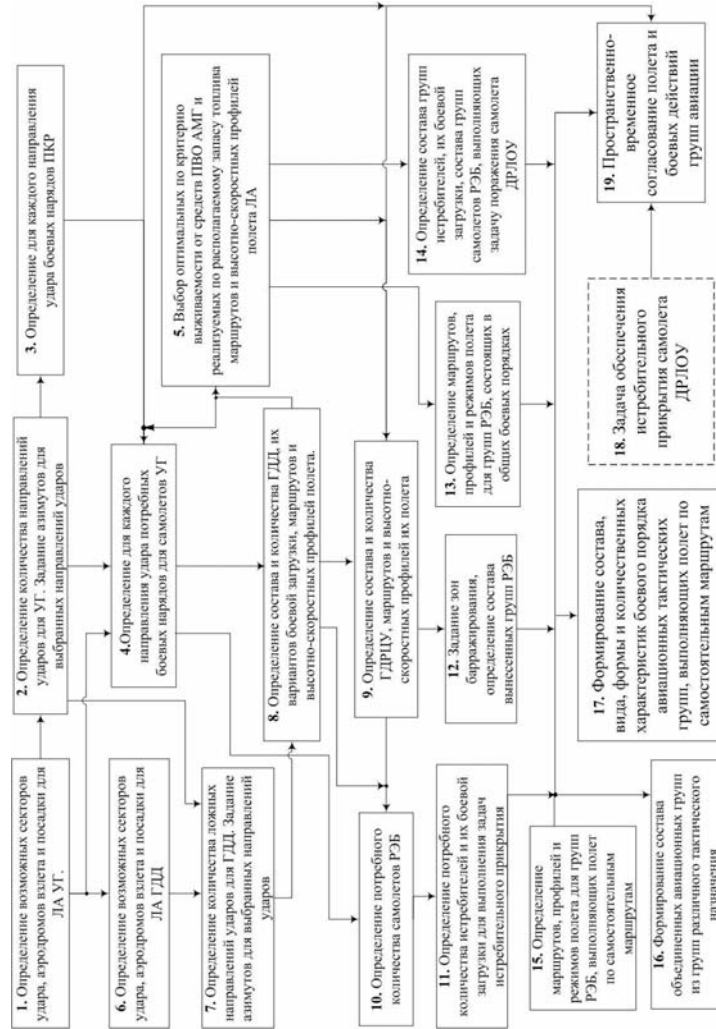


Рис.3. Функциональная схема решения задачи планирования действий авиационных групп в операции поражения АМГ

При решении задачи расчета боевых нарядов ПКР в качестве исходных данных принимаются: боевой порядок и координаты кораблей АМГ, направления ударов, способ применения ПКР для каждого из направлений удара. Кроме этого пользователем должны быть заданы смещения относительно времени «Ч» в моментах нанесения удара для каждого из принятых направлений. Также задаются: потребный уровень вероятности поражения авианосца $P_{a,з}$, потребный уровень математического ожидания числа пораженных кораблей из состава КГ F_Z , располагаемый боекомплект ПКР $N_{r, \max}$, выделенный

для определения боевых нарядов, математическое ожидание плотности залпа ПКР $\lambda(N)$ для каждого направления удара N . Решение задачи целераспределения (ЦР) состоит в вычислении для каждого направления удара $N \in \overline{1, NM}$ боевых нарядов ПКР $N_{cr\Sigma}(N)$, обеспечивающих для любого номера $m \in \overline{1, M}$

$$P_a(m) \geq P_{a,3} \quad (3)$$

и хотя бы для одного из номеров m^* , $m^* \in \overline{1, M}$

$$F(m^*) \geq F_z, \quad (4)$$

при условии, что

$$\sum_{N=1}^{NM} N_{cr\Sigma}(N) \leq N_{r, \max}, \quad (5)$$

где $P_a(m)$ – вероятность поражения авианосца по заданному типу в m -й поражающей комбинации; $F(m^*)$ – математическое ожидание числа пораженных кораблей в m^* -й поражающей комбинации; NM – общее число заданных направлений удара; m – номер поражающей комбинации; M – общее число поражающих комбинаций в матрице; $N_{cr\Sigma}(N)$ – число ПКР, распределенных на N -е направление удара. Для каждого направления удара $N \in \overline{1, NM}$ и корабля $j \in \overline{1, K}$ при фиксированном m вычисляется приращение целевой функции

$$\Delta(m, N, j) = \varphi(m, j) \eta(N, j) A(j) W(N, j, N_{cr}(N, j) + 1), \quad (6)$$

где K – число кораблей в КГ, номер $j = 1$ соответствует авианосцу; $\varphi(m, j)$, $\eta(N, j)$ – индикаторные функции, характеризующие присутствие j -го корабля в m -й поражающей комбинации и в зоне возможных пусков ПКР, выполняющей наведение с направления удара N , соответственно; $A(j)$ – коэффициент важности j -го корабля, определяются

$$(N^*, j^*) = \arg \max_{N \in \overline{1, NM}} \max_{j \in \overline{1, K}} \Delta(m, N, j), \quad N_{cr}(N^*) = N_{cr}(N^*) + 1. \quad (7)$$

Для получения субоптимального решения данной задачи целочисленного программирования в работе используется *метод максимального элемента*.

Величины $P_a(m)$, $F(m^*)$ определяются с использованием результатов предварительного имитационного моделирования процесса наведения ПКР.

Потребный боевой наряд N_6 самолетов УГ для каждого направления удара получается из решения следующего уравнения:

$$Q_{\Sigma \text{ ПВО}}^x(N_{\text{гр}} = 1) = x \cdot N_{\text{пол}}, \quad (8)$$

где $1/x = N_6$; $N_{\text{пол}}$ – полигонный наряд самолетов данной УГ, вычисляемый из условия доставки в зону пуска выделенного наряда ПКР, с учетом заданного варианта боевой загрузки этими ПКР одного ударного самолета и отсутствия противодействия со стороны системы ПВО АМГ; $Q_{\Sigma \text{ ПВО}}(N_{\text{гр}} = 1)$ – оценка выживаемости одиночного ЛА при преодолении системы ПВО АМГ по маршруту и высотно-скоростному профилю полета от аэродрома взлета до аэродрома посадки.

Задача II. Планирование действий обеспечивающих авиационных групп. Целью решения данной задачи является определение: 1) секторов удара, аэродромов взлета и посадки для ЛА демонстративных групп;

2) количества ложных направлений ударов для ГДД и азимутов для выбранных направлений ударов; 3) состава и количества ГДД, их вариантов боевой загрузки, маршрутов и высотно-скоростных профилей полета; 4) состава и количества ГДРЦУ, маршрутов и высотно-скоростных профилей их полета, промежуточных пунктов маршрута (ППМ) начала и окончания разведки для каждого маршрута; 5) потребного количества самолетов РЭБ для выполнения помехового прикрытия УГ, ГДД и ГДРЦУ; 6) потребного количества истребителей и их боевой загрузки для выполнения задач истребительного прикрытия; 7) зон барражирования, состава групп РЭБ, выполняющих помеховое прикрытие, маршрутов и высотно-скоростных профилей их полета в указанные зоны, режима полета в зонах барражирования, условий начала и окончания постановки помех, профиля и режима полета на аэродром посадки; 8) маршрутов, профилей и режимов полета для групп РЭБ, выполняющих полет в общих боевых порядках; 9) маршрутов, профилей и режимов полета для ГРЭБ, выполняющих полет по самостоятельным маршрутам; 10) состава групп истребителей, их боевой загрузки, состава ГРЭБ для поражения самолета ДРЛОУ, маршрутов, профилей и режимов их полета; 11) оптимальных по критерию выживаемости от средств ПВО АМГ и реализуемых по располагаемому запасу топлива маршрутов и высотно-скоростных профилей полета ЛА обеспечивающих групп с заданными вариантами их боевой загрузки.

По структуре алгоритмы решения задач I и II схожи, однако имеются различия, заключающиеся в следующем. В алгоритме оценки затрат топлива на маневрирование при атаке и выходе из нее предусматривается возможность выполнения ЛА ГДД отвлекающих действий в районе объекта удара, а вариант их боевой загрузки в минимальной степени должен ограничивать маневренные возможности этих ЛА, что учитывается при выборе их варианта подвески. Кроме того, в целях эффективного выполнения отвлекающих маневров, назначаемые ЛПР ложные направления удара демонстративных групп должны отличаться (не менее чем на $40^\circ\div 45^\circ$) от ближайших направлений удара для УГ. Формирование и выбор рациональных маршрутов полета ГДРЦУ производит ЛПР с учетом требуемого уровня выживаемости ЛА при действии огневых средств ПВО, условий попадания объектов разведки в зону эффективного действия бортовых информационных средств и нахождения в ней в течение заданного интервала времени. Потребное количество истребителей сопровождения рассчитывается согласно алгоритму, который учитывает заданную надежность истребительного прикрытия, помеховые возможности самолетов РЭБ, а также в зависимости от предполагаемой численности истребителей перехвата и показателей их эффективности.

Задача III. Формирование состава объединенных авиационных групп из групп различного тактического назначения (ударные и обеспечивающие группы) для заданных направлений удара и определенных маршрутов полета. Решение этой задачи осуществляется ЛПР в диалоговой среде системы планирования с учетом принятых рекомендаций построения объединенных формирований ЛА (эффективности их информационного,

траекторного и огневого взаимодействия) и факта наличия (как правило) общих для их структурных единиц маршрутов полета. Результатом решения является задание вида, формы и количественных характеристик боевого порядка объединенной группы, вида, формы и количественных характеристик боевых порядков групп, выполняющих полет в составе объединенной группы.

Задача IV. Формирование состава, вида, формы и количественных характеристик боевого порядка авиационных тактических групп, выполняющих полет по самостоятельным маршрутам. Алгоритм решения данной задачи аналогичен алгоритму из задачи II с главным отличием, состоящим в необходимости учета условий эффективного использования конкретного вида боевого порядка ЛА (“пеленг”, “клин”, и т.д.)

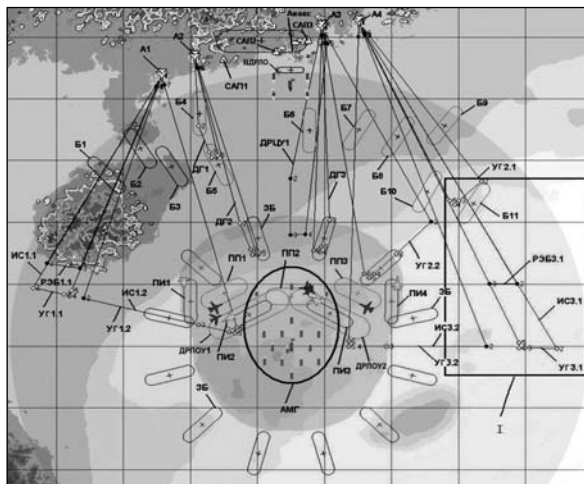
Задача V. Пространственно-временное согласование полета и боевых действий групп авиации относительно времени “Ч” с учетом исходных данных, определенных в **задачах III, IV** и полученных при моделировании полета групп различного тактического назначения, участвующих в операции, по выбранным для них в **задачах I, II** маршрутам и высотно-скоростным профилям, времен пролета промежуточных пунктов своих маршрутов относительно момента времени взлета. В результате решения этой задачи специалистом определяются: условия (рубежи, моменты времени, положения относительно прикрываемых групп) начала и окончания постановки помех для ГРЭБ; моменты времени вылета для авиационных тактических групп, задействованных в операции. При необходимости также решается задача истребительного прикрытия самолета ДРЛОУ. Решение данной задачи производится относительно момента времени “Ч” в режиме диалога ЛПП с интерактивной автоматизированной системой планирования с учетом исходных данных, определенных в перечисленных выше задачах и полученных при моделировании полета групп ЛА различного тактического назначения, участвующих в рассматриваемой операции, по выбранным для них в задачах I, II маршрутам и высотно-скоростным профилям, времен пролета ППМ относительно момента взлета. Времена пролета ППМ всех участников авиационного налета запоминаются на этапе решения задач I, II для каждой группы ЛА из состава ударных и обеспечивающих сил.

Третья глава диссертационной работы посвящена разработке архитектуры интерактивной автоматизированной системы планирования. Рассмотрена объектно-ориентированная структура программных модулей, обеспечивающих поддержку данной системы, выполнена ее интеграция в состав программного комплекса имитационного математического моделирования операций поражения КГ.

В **главе 4** диссертационной работы произведена оценка эффективности вариантов планирования действий авиации различного тактического назначения в задаче поражения АМГ средствами имитационного моделирования. Кратко рассмотрена структура системы имитационных математических моделей операций поражения КГ. Проведено имитационное моделирование

сформированного с помощью интерактивной автоматизированной системы планирования варианта сценария (рис.4). В состав поражающей комбинации АМГ входил авианосец. Внешнее целеуказание для авиации, атакующей АМГ, обеспечивали самолет ДРЛОУ и вертолет ДРЛО.

Выполнена коррекция сценария, которая заключалась в изменении конфигурации маршрута полета объединенной тактической группы № 3.1 (рис.5) и установке момента включения БРЛС УГ3.1 по дальности относительно заданного контрольного ППМ №4. Планирование проводилось с учетом сечений информационных полей и зон поражения системы ПВО АМГ, построенных для заданных значений высоты H и ЭПР воздушных объектов σ (рис.4). Указанная коррекция была произведена с целью синхронизации моментов подлета ПКР к цели одновременно со всех направлений удара с учетом различных видов траекторий наведения ПКР и профилей полета носителей. Основные результаты моделирования сценария приведены в табл. 1–3, согласно которым авиационная группировка полностью выполнила поставленные перед ней задачи (достигнут минимум критерия (2) при обеспечении заданных уровней ущербов сторон).



Обозначения на рис.4:

А – аэродромы; Б – зоны барражирования вынесенных постановщиков активных помех; ВДРЛО – зона барражирования вертолета ДРЛО; ЗБ – зоны барражирования самолетов боевых воздушных патрулей; ПП – зоны барражирования постановщиков помех; ДГ – группы ЛА демонстративных действий; ПИ – зоны патрулирования палубных истребителей.

Сечения информационных полей и зон поражения системы ПВО АМГ приведены для $H = 200$ м и $\sigma = 3$ м²

Рис.4. Вариант решения задачи планирования операции поражения АМГ (горизонтальная плоскость)

Результаты статистики для тестового сценария (табл.1) свидетельствуют о том, что наибольшие потери ЛА среди ударных групп произошли на направлении удара №2, УГ 2.2. Проведенный анализ влияния вида траектории наведения ПКР ($KH = 1,3$) на суммарную стоимость утраченных сил и средств авиации в рассматриваемой операции C_a (2) показал, что задание $KH=3$ (“высокая-высокая”) приводит к увеличению $D_{п \max}(H, V, KH)$, непопаданию ППМ пуска ПКР УГ2.2 в зону действия зенитных средств АМГ (рис.4), уменьшению числа сбитых ЛА, существенному уменьшению стоимости

утраченных ЛА в УГ2.2 и, как следствие, к снижению суммарной величины C_a (см. (2), рис.6).

Все представленные в диссертационной работе выводы и рекомендации полностью подтверждены результатами экспериментальных исследований в процессе выполнения НИР с использованием метода статистических испытаний, проведенных на комплексе имитационных математических моделей.

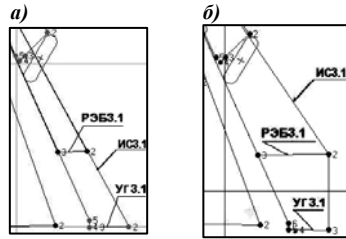


Рис.5. Коррекция сценария (фрагмент I). а) первоначальный вид; б) измененная ЛППР конфигурация маршрута объединенной тактической группы № 3.1

Табл.1. Статистика потерь сил авиации, атакующей АМГ

Номер направления удара	Тактическая группа	Общее количество ЛА	Количество сбитых ЛА
1	УГ 1.1	12	0
	УГ 1.2	16	11
	ИС 1.1	8	0
	ИС 1.2	4	1
	РЭБ 1.1	2	0
	Итого	42	12
2	УГ 2.1	16	12
	УГ 2.2	16	15
	Итого	32	27
3	УГ 3.1	16	0
	УГ 3.2	14	10
	ИС 3.1	4	1
	ИС 3.2	4	1
	РЭБ 3.1	10	0
	Итого	48	12
Тактические группы, выполняющие полет по самостоятельным маршрутам	ДРЦУ 1	6	6
	ДГ 1	4	0
	ДГ 2	4	0
	ДГ 3	4	0
	Вынесенные ЛА РЭБ	11	0
	Итого	29	6

Табл.2. Результаты применения СП ударными силами авиации, атакующей АМГ

Ударная группа	Число СП на подвеске	Число пущенных СП	Число сбитых СП	Количество СП, достигших цели
УГ 1.1	24	24	20	2
УГ 1.2	32	10	8	2
УГ 2.1	32	32	30	2
УГ 2.2	32	8	7	1
УГ 3.1	32	2	2	0
УГ 3.2	28	8	7	1
Итого	180	84	74	8

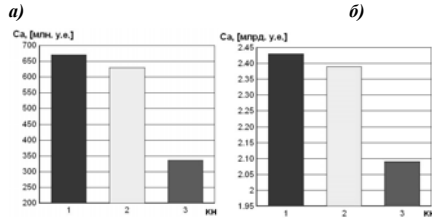


Рис.6. Влияние вида траектории наведения *КН* ПКР на *а)* стоимость утраченных ЛА в УГ 2.2; *б)* величину C_a из (2)

Табл.3. Результаты анализа эффективности спланированного сценария

Суммарная стоимость утраченных сил и средств авиации, атакующей АМГ, согласно выбранному критерию оптимальности (у.е.):	
– при решении задачи планирования	2.24 млрд.
– по результатам имитационного моделирования	2.39 млрд.
Количество примененных ПКР	84
Количество сбитых ПКР	74
Количество примененных УР класса “воздух-воздух” средней дальности:	
– атакующей стороной	58
– палубными истребителями (ПИ) АМГ	91
Число самолетов атакующей стороны, участвовавших в операции	153
Число утраченных самолетов атакующей стороны, в том числе	57
– количество ЛА, сбитых авиацией ПВО АМГ	40
– количество ЛА, сбитых ЗРК АМГ	17
Заданный норматив ущерба авиации атакующей стороны (%)	40
Уровень относительного ущерба авиации атакующей стороны по результатам имитационного моделирования (%)	37
Вероятность поражения по заданному типу главной цели АМГ	0.85
Количество ПИ АМГ, принимавших участие в операции	52
Число утраченных ПИ АМГ	32
Число пораженных кораблей АМГ и их тип	1 авианосец по типу <i>B</i>
Уровень относительного ущерба авиации ПВО АМГ по результатам имитационного моделирования (%)	61.5

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. С учетом особенностей и современных тактик проведения операции поражения АМГ, предложен вариант математической постановки задачи оптимального планирования как задачи математического программирования, минимизируемым критерием в которой является стоимость применения сил и средств авиации при условиях нанесения ущерба противнику не ниже нормативного и обеспечения уровня собственных потерь авиационной группировки не выше допустимого [1,2,3].
2. Обоснован вариант декомпозиции сформулированной задачи условной оптимизации в виде комплекса частных подзадач [1,4].
3. На базе предложенного варианта декомпозиции разработана методика планирования действий сил и средств авиации различного тактического назначения в операции нанесения удара по АМГ [1, 3–5].
4. Спроектирована архитектура интерактивной автоматизированной системы, реализующая указанную методику планирования, достоинством которой является возможность оперативной коррекции сценариев специалистом в интерактивном режиме диалога с системой и получения ограниченного набора

вариантов планирования, оптимальных в смысле принятого критерия. Сформулированы требования, предъявляемые к данной системе на этапе ее проектирования [1,2,4,5].

5. Выполнена программная реализация агрегированных математических моделей, описывающих этапы операции поражения АМГ, и их интеграция в структуру интерактивной автоматизированной системы планирования [2,4].

6. Произведена интеграция разработанной системы планирования в состав программного комплекса имитационного моделирования операций поражения КГ силами и средствами авиации различного тактического назначения [1,2,4,6].

7. Проведен анализ эффективности сформированных вариантов сценариев действий авиационной группировки средствами имитационного моделирования, который продемонстрировал, что разработанная интерактивная автоматизированная система планирования обеспечивает решение задачи поражения АМГ с заданным уровнем ущерба при минимальных затратах [1,2,4–6].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из перечня ВАК

1. Дьячук А.К., Оркин Б.Д., Оркин С.Д. Интерактивная автоматизированная система планирования действий авиации различного тактического назначения по морским объектам. // Изв. РАН. ТиСУ. 2011. № 3. С. 88–103.
2. Дьячук А.К., Оркин Б.Д., Оркин С.Д. Программный комплекс для проведения планирования и имитационного моделирования действий авиации по морским объектам. // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 5 С. 9–15.

В других изданиях

3. Медынский М.М., Дьячук А.К. Численные методы оптимизации с использованием системы Maple 11. М.: Изд-во МАИ–ПРИНТ, 2009. 288 с.
4. Оркин Б.Д., Оркин С.Д., Дьячук А.К. и др. Планирование и имитационное моделирование операций поражения наземных и морских объектов силами и средствами авиации сухопутного и корабельного базирования. Тр. II Российско-китайской междунар. конф. по проектированию аэрокосмической техники. М.: Информиздат, 2007. С. 146–154.
5. Оркин Б.Д., Оркин С.Д., Дьячук А.К. Система автоматизированного планирования применения формирований пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов по наземным и морским объектам. Сб. докл. VIII Всероссийской юбилейной научно-технической конф. “Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов”. М.: Изд-во МАИ–ПРИНТ, 2010. С. 188–195.
6. Оркин Б.Д., Оркин С.Д., Дьячук А.К. Имитационное моделирование возможных вариантов применения групп пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов при действии по наземным и морским объектам. Сб. докл. VIII Всероссийской юбилейной научно-технической конф. “Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов”. М.: Изд-во МАИ–ПРИНТ, 2010. С. 178–183.

Подписано в печать 03.05.11.
Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 70 экз.
Заказ 4652.
Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д.4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993