

УДК 621.001

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ БПЛА В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

**А.М. Куся**

Акционерное общество «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»  
Россия, 141080, г. Королёв, Ильича ул., д. 7  
E-mail: [kmo@ktrv.ru](mailto:kmo@ktrv.ru)

**С.И. Сычёв**

Акционерное общество «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»  
Россия, 141080, г. Королёв, Ильича ул., д. 7  
E-mail: [kmo@ktrv.ru](mailto:kmo@ktrv.ru)

**Е.М. Воронов**

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Россия, 141080, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
E-mail: [emvoronov@mail.ru](mailto:emvoronov@mail.ru)

**А.Л. Репкин**

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Россия, 141080, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
E-mail: [alexr\\_bmstu@mail.ru](mailto:alexr_bmstu@mail.ru)

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сетецентрическое управление, управление группой УСП.

**Аннотация:** Для формирования и отработки базовых решений по составу и основным техническим характеристикам бортовых систем АСП практически полезными и экономически выгодными являются подходы проектирования и исследования, выявляющие и оптимально настраивающие основные характеристики структурно и функционально сложных систем АСП. Такие решения о структурной и функциональной эффективности бортовых систем АСП формируются на базе анализа результатов оценки эффективности применения группировки АСП по одиночным и групповым целям, использующим все виды огневого и информационного противодействия. В процессе анализа проводится оценка степени влияния параметров АСП на эффективность боевого применения и формируется перечень критически важных параметров АСП.

## 1. Введение

При ведении авиацией оборонительных и наступательных боевых действий в военных конфликтах с надводными кораблями и их соединениями авиационно-ракетная

группировка управляемых средств поражения (ГУСП), состоящая из авиационных носителей с бортовыми системами управления, УСП с активным и пассивным наведением, средств радиоэлектронной борьбы и других подсистем управления и целеуказания является эффективным средством поражения, поэтому повышение «целевых» требований ко всем составляющим ГУСП является актуальной задачей. Эти требования имеют иерархический характер и в целом охватывают как вопросы повышения эффективности применения ГУСП как сложной информационно-управляющей системы активными ресурсами, так и методы повышения качества траекторного управления УСП и его системы стабилизации. При этом дальнейшее повышение эффективности ГУСП и её подсистем связано с обобщением и использованием информации о структурно-функциональных свойствах и современной тактике системы ПВО надводного корабля (НК) и соединения НК (СНК).

В условиях точного предстартового целеуказания ЦУ достаточным является одноэшелонное построение ГУСП в единую поисково-ударную группу. Рассматриваемое построение позволяет повысить выживаемость УСП за счет квазисовременного входа группы в зону ПВО надводного корабля (НК) и уменьшения тем самым суммарного времени воздействия средств обороны НК УГ. Возможность использования УСП собственных информационных каналов, их дублирование системой взаимного обмена данными повышает вероятность успешных действий в условиях информационного противодействия на заключительном этапе нанесения удара.

При непродолжительном времени старения информации, в ряде случаев, при формировании целеуказания в условиях помехового противодействия возможно двухэшелонное построение ГУСП с созданием малочисленной группы допоиска и основной ударной группы, работающих в пределах взаимного информационного контакта.

В условиях грубого предстартового ЦУ, по критерию минимизации стоимости боевой операции, более рациональным представляется нанесение удара с формированием нескольких эшелонов УСП. Первый эшелон должен быть поисково-ударным со своей спецификой построения, ориентированной в первую очередь на эффективное решение задачи поиска и классификации цели. Увеличение количества УСП первого эшелона обусловлено значительной неопределенностью начальных исходных данных. Последующие УСП могут иметь одноэшелонное построение и после получения данных о положении цели от поисково-ударного эшелона осуществить доворот в направлении цели.

*Для поисково-ударного эшелона ГУСП* одним из первоочередных условий является охват достаточно большой зоны обзора в целях уточнения местоположения НК УГ в зоне неопределенности. Поэтому УСП поисково-ударного эшелона после запуска разводятся по фронту с интервалом между УСП равным  $L = (0,6 \div 1) \cdot L_o$ , где  $L_o$  — ширина поля зрения ГСН.

УСП данного эшелона должны координировано подходить к заданному рубежу начала поиска целей. Значительный разнос строя по фронту повышает выживаемость УСП эшелона по отношению к истребителю-перехватчику (ИП), так как для перехвата каждой из них необходимо выделение отдельного наряда ИП. Одновременно строю поисково-ударных УСП необходимо находиться в зоне досягаемости системы обмена данными между УСП поисково-ударного и ударного эшелонов.

*Для ударного эшелона ГУСП* задача управления строем существенно усложняется из-за следующих обстоятельств:

- ударный эшелон всегда многочисленен и формируется, как правило, пуском всех УСП боекомплекта с нескольких самолетов-носителей, что обуславливает разноходовость УСП-ПКР;

- требования по одновременности подхода УСП к заданному рубежу для насыщения огневых каналов ПВО, оказываются достаточно жесткими и должны выполняться предельно точно;
- требования по уплотнению строя УСП и одновременному их подходу к зоне обнаружения и поражения корабельных комплексов ПВО должны выполняться вместе с требованиями значительного разнесения УСП по фронту в зоне ответственности ИП;
- при любых сближениях в объеме эшелона УСП должны выполняться также требования по их безусловной безопасности от столкновения, по непоражению нескольких УСП эшелона одной зенитной управляемой ракетой (ЗУР) и по электромагнитной совместимости.

## 2. Сценарий

Развитие средств ПВО корабельных группировок противника обуславливает требование пуска УСП–ПКР вне зоны досягаемости ПВО. В связи с этим целеуказание возможно только от внешних (по отношению к системам носителя) источников. Вместе с тем возникает ряд сложностей обеспечения наведения ракет, обусловленный наличием неопределенности области вероятного положения цели (ОВПЦ), а также сложностью поиска и распознавания одиночной цели в группе НК. Размер ОВПЦ зависит от погрешностей ЦУ и от времени устаревания информации ЦУ при её трансляции на самолет-носитель (СН).

**Поиск и выделение заданной группы НК.** Решение этой задачи реализуется с помощью пассивных каналов (ПК) ГСН, которые после пуска УСП уточняют положение группировки НК противника по излучению их радиоэлектронных станций (РЭС).

При значительных погрешностях ЦУ в ОВПЦ кроме группы НК, предназначенных для поражения эшелонам УСП, могут попасть и другие группы НК. Усложняет задачу выбора цели также и унификация РЭС НК противника. В связи с этим в качестве одного из критериев выбора приоритетной группы НК (кроме излучения их РЭС), возможно использовать дальность группы НК от приоритетной точки, выданной перед пуском.

Оценку дальности с помощью ПК ГСН возможно произвести триангуляционным методом. Обнаружение радиоизлучающих целей (РИЦ) на большом расстоянии и высокая точность оценки дальности требует большой базы (расстояния между УСП или группами УСП по фронту). Для оценки дальности до каждой РИЦ необходимо передавать по системе взаимного обмена информацией данные о пеленге РИЦ, а также информацию о пространственно-временном положении УСП группы.

**Поиск и выделение НК группы.** После обнаружения заданной группы НК производится разворот эшелона или ГУСП в целом в направлении ордера. Необходимость рассредоточения УСП группы по фронту в зоне ИП противника одновременно позволит пассивным каналом оценить дальности до каждой НК группы. Вероятна работа РЛС НК группы по регламенту для усложнения их обнаружения, и это обуславливает требование работы ПК ГСН в диапазоне систем связи НК группы.

Обнаруженные ПК ГСН НК должны заноситься в таблицу целей. Также для каждого НК формируется область вероятного положения, учитывающая ошибки ПК ГСН УСП, ошибки инерциальной системы управления, движение самого НК и время устаревания данных. После достижения дальней границы работы активных каналов (АК) ГСН производится поиск НК, и в таблицу целей заносятся точные координаты, которые отождествляются с координатами и типом РЭС, полученными ПК ГСН.

По мере приближения к группе НК противника ПК ГСН ГУСП уточняют координаты излучающих РЭС для определения их принадлежности к НК обнаруженным АК ГСН.

На дальности, позволяющей АК ГСН ГУСП работать в режиме высокого разрешения, происходит определение габаритных размеров НК. Информация о габаритных размерах НК и данные об их РЭС позволит расставить НК группы в таблице целей в порядке приоритетности для поражения.

Работу СН УСП можно разбить на несколько рубежей (см. рис. 1 на примере АУГ) по мере сближения с НК противника (на всех рубежах происходит определение класса НК по параметрам излучения его РЭС и габаритным размерам):

- 1) сбор УСП в строй после пуска и полет к точке прицеливания по инерциальной системе управления, скомплексированной с аппаратурой спутниковой навигации;
- 2) поиск заданного ордера по излучению его РЭС и близости к приоритетной точке, с последующим разворотом ГУСП в направлении выбранного ордера;
- 3) выделение барьера ПВО–ПРО и ядра ордера по параметрам излучения РЭС и построению НК АУГ;
- 4) уточнение координат НК барьера ПВО–ПРО и ядра ордера АУГ по мере приближения ГУСП к ним с помощью ПК ГСН, а также уточнения координат НК барьера ПВО–ПРО АК ГСН (на максимальной дальности работы АК ГСН) с последующим отождествлением радиоизлучающих целей (РИЦ) и радиоконтрастных целей (РКЦ), имеющих приблизительно одни координаты;
- 5) определение габаритных размеров НК барьера ПВО–ПРО на дальности работы АК ГСН в режиме высокого разрешения и присвоение им класса НК по совокупности данных от ПК ГСН и АК ГСН с последующим целераспределением части УСП группы в зависимости от логики выбора цели и типа НК;
- 6) уточнение координат НК ядра ордера по мере приближения ГУСП к ним с помощью ПК ГСН и АК ГСН (на максимальной дальности работы АК ГСН) с последующим отождествлением радиоизлучающих целей (РИЦ) и радиоконтрастных целей (РКЦ) имеющих приблизительно одни координаты;
- 7) определение габаритных размеров НК ядра ордера на дальности работы АК ГСН в режиме высокого разрешения и присвоение им класса НК по совокупности данных от ПК ГСН и АК ГСН с последующим целераспределением УСП группы в зависимости от логики выбора цели и типа НК.

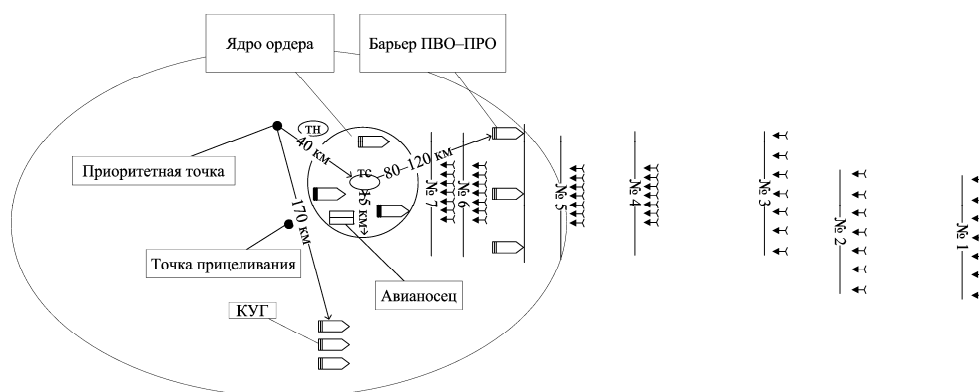


Рис. 1. Схема взаимодействия ГУСП с СПВО СНК типа АУГ.

**Алгоритм РЭБ ГУСП.** В общем случае к сигналам РЭС ПВО относятся следующие параметры, расставленные в порядке убывания приоритетности:

- а) по несущей частоте сигнала:
  - БРЛС палубных истребителей и ГСН ЗУР (АУР), а также РЛС подсвета целей;
  - многофункциональные РЛС и РЛС обзора воздушных целей (ОВЦ), а также РЛС ОБЦ;
  - БРЛС самолетов ДРЛО;
- б) по режиму работы РЭС:

- режим «0» — отсутствие;
  - режим «1» — обзор;
  - режим «2» — захват;
  - режим «3» — сопровождение;
  - режим «4» — пуск;
- в) по типу сигнала:
- непрерывный;
  - импульсный;
- г) по направлению приема сигнала, т. е. чем меньше угол между направлением прихода сигнала и осью УСП, тем приоритетней цель.

После определения приоритетности РЭС ПВО происходит целераспределение каналов подавления САП УСП. Возможно провести целераспределение каналов САП двух УСП по одной таблице приоритетных целей при соблюдении условий:

- 1) нахождения двух УСП на одной дальности от РЭС ПВО;
- 2) проекция линейной базы (расстояние между УСП) на плоскость, перпендикулярной линии визирования РЭС ПВО должна быть меньше разрешающей способности по углу РЭС ПВО.

### 3. Требования к программной реализации

**Функция формирования конфигурации ГУСП.** На основании приведенной ранее информации принимается, что залп УСП может состоять из нескольких групп УСП с временным интервалом между группами, обусловленным сходом УСП с СН. Предлагается следующий метод формирования текущей конфигурации ГУСП:

- 1) задается количество самолетов поддержки взаимодействия (постановка помех, управление и пр.), самолетов-носителей, осуществлявших запуск УСП, а также общее количество УСП;
- 2) задаются основные характеристики УСП: базовая скорость, базовая вероятность поражения;
- 3) задаются начальные координаты центрального УСП в ближайшей подгруппе, а также координаты точки полетного задания для каждого УСП;
- 4) задаются расстояния между УСП по каждой координате по которым вычисляются координаты УСП.

**Функция формирования конфигурации СПВО.** Основные характеристики СПВО, которые должны входить в набор начальных данных для работы алгоритмов идентификации, целераспределения и прогноза динамики конфликта, следующие:

- количество кораблей в ордере;
- координаты, скорость, габариты, тип, живучесть и расстояние гарантированной идентификации со стороны ГУСП каждого НК;

Характеристики ЗРК:

- типы ЗРК по дальности;
- диапазон по дальности действия ЗРК;
- канальность и боезапас ЗРК каждого типа;
- общая канальность ПВО по типам кораблей;
- базовая вероятность поражения ЗРК каждого типа;
- количество и тип ЗРК, установленные на каждом корабле ордера;
- количество ЗУР соответствующей дальности действия;
- матрицы вероятностей поражения и координат для всех активных на данный момент ЗРК; в начальный момент времени, до проведения первого ЦР процедурой идентификации группировки УСП, они не содержат значений.

Характеристики РЛС:

- тип РЛС;
- нижняя и верхняя частоты излучения РЛС каждого типа;
- дальность действия/обнаружения РЛС каждого типа;
- тип РЛС, установленных на каждом корабле.

**Функция формирования численности ЗУР в зависимости от конфигурации ГУСП.** Входные данные функции — структуры конфигурации СПВО, ЗРК и ГУСП, полученные ранее. Выходными параметрами являются:

- матрица размерностью  $N_{\text{кан}} \times N_{\text{ГУСП}}$ , где  $N_{\text{кан}}$  — все каналы ЗРК системы ПВО, активные на текущий момент, элементами которой является бинарный признак обслуживаемости каждым каналом ЗРК каждого УСП.
- матрица размерностью  $N_{\text{кан}} \times 5$ , элементами которой по второй размерности являются три координаты активных каналов, а также принадлежность их конкретному кораблю ордера и тип конкретного ЗРК этого канала.

Расчет ведется по дальности расположения каждого объекта УСП до кораблей ордера, для каждого ЗРК каждого корабля по исходным данным о диапазоне дальностей действия ЗРК устанавливается факт обслуживания каждой УСП – матрица  $\bar{R}_p$  размерностью  $N_{\text{ПВО}} \times N_{\text{ГУСП}} \times N_{\text{ЗРК тип}}$ , элементы которой могут принимать значения  $\{0; 1\}$ , значение  $\bar{R}_p \{i, j, k\} = 1$  характеризует тот факт, что комплекс ЗРК типа  $k = \bar{N}_{\text{ЗРК тип}}$  на корабле  $i = \bar{N}_{\text{ПВО}}$  может обслуживать УСП с номером  $j = \bar{N}_{\text{ГУСП}}$ .

Далее, в зависимости от канальности каждого ЗРК, имеющегося в составе системы ПВО ордера, устанавливается число ЗУР, которые могут быть выпущены в текущий момент (в зависимости от текущей конфигурации систем) — матрица размерностью  $N_{\text{ПВО}} \times N_{\text{ЗРК тип}}$ , на основании которой формируются выходные параметры функции, указанные выше. Полученные результаты являются основой для дальнейшего формирования текущего ЦР ПВО.

## Список литературы

1. Ярмолук В.Н., Ефремов В.А., Сычев С.И. Оптимизация обликовых характеристик управляемых средств поражения методами имитационного моделирования // Фазотрон. 2012. № 1 (17). С. 66-70.
2. Воронов Е.М., Ефремов В.А., Сычев С.И. Конфликтно-оптимальное прогнозирование в системе имитационного моделирования взаимодействия группировок управляемых средств поражения // Фазотрон. 2013. № 1 (20). С. 38-43.
3. Алгоритм управления ресурсами на основе сравнения многокритериальных альтернатив и прогноза динамики конфликта / А.В. Борзунов, Е.М. Воронов, А.Л. Репкин и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. № 2. С. 3-29.
4. Воронов Е.М. Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами на основе стабильно-эффективных компромиссов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
5. Многорубежная система ПВО корабля на основе оптимизационно-имитационного программно-корректируемого принятия решений / А.В. Борзунов, Е.М. Воронов и др. // Интеллектуальные системы: Труды IX Междунар. симпоз. (Россия, Владимир, 28 июня - 2 июля 2010 г.). М.: РУСАКИ, 2010. С. 377-381.