На правах рукописи

Чжан Сяньцзянь

КОНФЛИКТНО-ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ МНОГООБЪЕКТНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НАЗЕМНОГО И ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Специальность 05.13.01
Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Чжан Сяньцзянь

Москва, 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» на кафедре «Системы автоматического управления».

Научный руководитель: **Воронов Евгений Михайлович**
доктор технических наук, профессор, кафедра «Системы автоматического управления» ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Официальные оппоненты: **Карпенко Анатолий Павлович**
доктор физико-математических наук, доцент, кафедра «Системы автоматического проектирования» ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
2029788
Чжан С. Конфликтно – оптимальное управлен

Серов Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент, кафедра «Управление и моделирование систем» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Российский университет дружбы народов»

Защита диссертации состоится « 10 » сентября 2013 г. в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного Совета Д212.141.02 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Госпитальный пер., д.10, ауд. 613м.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета Д212.141.02. Тел.: (499) 263-67-53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «18» июня 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент Муратов И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В работе исследуются системы управления ресурсами (СУР) многообъектных соединений летательных аппаратов (МСЛА) структурно и функционально сложных систем (СФСС) в конфликтной ситуации. Структурная сложность СУР СФСС, многокритериальность технических требований, конфликтные условия применения формируют актуальную задачу по совершенствованию моделей СУР СФСС, как многообъектных многокритериальных систем (ММС) и методов исследования на стыке теории управления, теории игр, теории исследования операций и принятия решений в форме теории оптимизации управления ММС на основе стабильно-эффективных компромиссов (СТЭК) для повышения эффективности СУР ММС и учета их конфликтно-оптимального применения.

В диссертации рассматривается актуальная задача повышения эффективности и совместного применения информационных, ракетных подсистем и средств электронного противодействия в составе СУР локальной системы наземного базирования (ЛС НБ) в конфликтной ситуации при отражении воздействия аналогичными ресурсами авиационно-ракетной группировки управляемых средств поражения (АР ГУСП) как локальной системы воздушного базирования (ЛС ВБ). Данные актуальные системные исследования выполняются в США, европейских странах, КНР и в ряде других стран. Поэтому исследование путей развития системных подходов при создании систем управления ресурсами структурных единиц наземной ЛС НБ в условиях конфликтного взаимодействия с ЛС ВБ является актуальным.

Опубликовано множество работ по применению методов теории управления, исследования операции и системного анализа в наземных, морских и авиационных комплексах управления многообъектными соединениями ЛА. Научная поддержка данных исследований отражена в работах многих организации, например, Института проблем управления РАН, Института системного анализа РАН, организации ФГУП «ГосНИИАС», а также вузов (МГУ, МГТУ, РУДН, ЛГУ, МАИ и др.).

Научная школа по современным проблемам управления ММС, в том числе МСЛА, сложилась в МГТУ им. Н. Э. Баумана на факультете «Информатика и системы управления» и в НИИ ИСУ под руководством академика РАЕН, д-ра техн. наук, профессора Е. М. Воронова.

Актуальность темы диссертации заключается в том, что данный подход применяется для исследования задачи повышения эффективности ЛС НБ на базе семейства ЛС НБ «Пэтриот», общие характеристики которого даны в обзоре иностранных работ по ЗРС ФГУП «ГосНИИАС».

Актуальное системное обобщение задачи заключается в формировании обобщенной математической модели конфликтной ситуации ЛС НБ – ЛС ВБ, обобщении системы тактических показателей и учета обобщенного потенциального ущерба, обобщении структуры алгоритма ранжирования–целераспределения (РЦ-ЦР) в форме КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) (где КС – конфигурации систем, ОПДК – оптимальный прогноз динамики конфликта, РЭБ – радиоэлектронная борьба ЛС ВБ, РЭП – радиоэлектронное противодействие ЛС НБ), обобщения методов решения комбинированных задач и исследования быстродействия алгоритмов, а также разработки программного обеспечения для разработки СУР МСЛА и многофакторного анализа на основе программной среды *Matlab* и элементов применения разработанных алгоритмов в реальном времени на основе программной среды *C++*.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является решение актуальной научно-технической задачи: разработка комплексных математических моделей и методов конфликтно-оптимального многорубежного управления ресурсами многообъектных конфликтно взаимодействующих наземной ЛС НБ и авиационной ЛС ВБ в форме обобщенного комбинированного алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) на основе развития и применения методов теории оптимизации управления ММС, исследования операций и принятия решений на этапах алгоритма и многофакторного исследования эффективности конфликтного взаимодействия систем.

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
Библиотека

Для достижения цели работы формулируются следующие задачи:

1. Постановка задачи конфликтно-оптимального многорубежного управления ресурсами при взаимодействии ЛС НБ и ЛС ВБ.

2. Разработка комплексной математической модели многорубежного конфликтного управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ.

3. Обобщение алгоритмов решения задач скалярного и многокритериального назначения для ЦР.

4. Разработка алгоритмического обеспечения многокритериальной задачи назначения-ранжирования целей по многофакторной опасности (РЦ-ЦР) с учетом неполноты информации в процессе ранжирования (для ЛС НБ) и с учетом прогноза в форме задачи размещения, важности цели, условий насыщения налета и управления мощностью (для ЛС ВБ).

5. Разработка оптимальных и субоптимальных версий совместного алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) с многорубежным прогнозом.

6. Разработка методов оптимального управления ММС на основе теории обобщенных активных равновесий и модификации СТЭК.

7. Синтез оптимальных позиционных управлений ресурсами конфликтующих сторон для повышения эффективности и обобщения динамических свойств конфликтного взаимодействия ЛС НБ и ЛС ВБ как СФСС.

8. Разработка программно-алгоритмического обеспечения ЛС НБ и ЛС ВБ при проектировании СУР многофакторного анализа конфликтного взаимодействия и элементов его реализации.

9.Многофакторный анализ многорубежного конфликтно-оптимального взаимодействия ЛС НБ и ЛС ВБ.

Методы исследования в диссертационной работе базируются на методах классической и современной теории управления, в частности на методах оптимизации управления ММС на основе стабильно-эффективных компромиссов; методах системного анализа, в частности, в его разделах по исследованию операции и принятию решений с задачами распределения ресурсов и методами моделирования на основе динамики средних, задачами принятия решений на основе многокритериального сравнения и выбора альтернатив в слабо формализованных моделях принятия решений; методах нелинейного программирования; программных системах в математической среде *Matlab*.

Научная новизна работы представлена следующими положениями:

1. Сформирована постановка задачи конфликтно-оптимального многорубежного управления ресурсами при взаимодействии ЛС НБ на базе специфики функционирования зенитных ракетных систем (ЗРС) «Пэтриот» и авиационно-ракетной группировки ЛС ВБ.

2. Разработана комплексная математическая модель многорубежного конфликтного управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ в составе информационных, ракетных подсистем, средств РЭП и наземных объектов зенитно-ракетной системы (ЗРС) – ЛС НБ, конфликтно взаимодействующей с АР ГУСП (ЛС ВБ) в составе тактической ракетной системы с ракетами «воздух-воздух» и «воздух-поверхность», средств РЭБ и пассивных объектов (носители управляемых авиабомб (НУА), головные части баллистических ракет (ГЧБР) и др.) с учетом двухрубежной структуры конфликта, РЦ-ЦР и прогноза потенциального ущерба сторон конфликта на основе динамики средних.

3. Сформирован обобщенный алгоритм решения многокритериальной задачи назначения методом компромисса на основе «идеальной» точки в форме последовательности специальных скалярных задач назначения, в которых обеспечивается оптимальность по точности и быстродействию с обобщенной комбинацией методов Мака, минимального элемента и «жадного» алгоритма.

4. Разработано алгоритмическое обеспечение многокритериальной задачи РЦ-ЦР по многофакторной опасности в комбинированных информационных условиях в форме модификации метода анализа иерархий; предложена оптимальная быстродействующая

версия алгоритма РЦ-ЦР с учетом многокритериальной опасности целей и задачи назначения пониженной размерности.

5. Разработан конфликтно-оптимальный совместный алгоритм КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) на основе комбинации локального и глобального прогноза с многоэтапной комплексированной оптимальной версией на рубеже конфликтного взаимодействия ЗРС «Пэтриот» ЛС НБ и АР ГУСП ЛС ВБ, и субоптимальным приближением для однорубежного и двухрубежного прогноза.

6. На основе теории слабых и сильных активных равновесий сформированы обобщенные модифицированные СТЭК с расширенными условиями существования и исследованы возможности повышения быстродействия алгоритмов получения равновесий по Нэшу и в форме угроз-контругроз (УКУ).

7. Разработан обобщенный двухэтапный алгоритм получения СТЭК на основе УКУ в задаче ОПДК при расширенном векторе показателей и программно-корректируемом управлении ресурсами.

8. Разработана методика динамической самоорганизации в рассматриваемой структуре ММС с позиционной балансировкой эффективности на основе полученных позиционных равновесных управлений ресурсами конфликтующих систем на этапе ОПДК полученных методами многопрограммной стабилизации.

9. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение систем конфликтно-оптимального управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ для многофакторного анализа конфликтного взаимодействия и элементов его реализации.

Практическая значимость результатов.

1. Конфликтно-оптимальное комбинированное алгоритмическое обеспечение по многоэтапной схеме КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) применено для формирования векторно-оптимального (по предотвращенному ущербу) управления ресурсами ЛС НБ – батарей ЗРС «Пэтриот» и их соединения в условиях насыщенного управляемого налета ЛС ВБ – АР ГУСП с частично симметричным векторно-оптимальным управлением ресурсами в двухрубежном конфликте с учетом многофакторной опасности целей (для ЛС НБ) и важности (для ЛС ВБ).

2. Исследована работоспособность и эффективность вероятностного метода учета конфигураций ЛС ВБ и ЛС НБ и многокритериального ранжирования-назначения на этапах КС-РЦ-ЦР управления ресурсами сторон в комбинированных информационных условиях с компромиссом по точности и быстродействию.

3. Исследована и обоснована эффективность конфликтно-оптимального комбинированного управления ресурсами ЗРС «Пэтриот», и АР ГУСП при двухрубежном противодействии на основе сравнительного многофакторного анализа двухрубежной динамики систем с базовым вариантом конфигурации.

4. Выполнен многофакторный анализ влияния тактики, начальных численностей, мощности комплекса РЭБ АР ГУСП и РЭП ЗРС, типо-ряда вероятностей поражения и др. факторов на вектора управления ОПДК, конечные численности и вектор эффективности конфликтующих систем (ν, x, J).

5. Сформирована методика получения позиционной зависимости управления ОПДК от тактики с выбором варианта тактики сторон оптимальной по вектору показателей J и конечному состоянию x.

6. Сформировано направление разработки базы данных на основе получения позиционных свойств (ν, x, J) от начальных численностей АР ГУСП, от мощности РЭБ (РЭП), от эффективности ракет АР ГУСП и ЗРС, для получения процессов управления реального времени.

7. На основе применения принципа динамической самоорганизации в рассматриваемой конфликтной задаче получена зависимость оптимальных (равновесных) управлений ОПДК

от текущих численностей (балансировка в структуре как функция состояний подсистем ЗРС и АР ГУСП в структуре), которая обобщает развиваемую базу данных.

8. Исследование насыщающих свойств ЛС ВБ – АР ГУСП на среднем рубеже позволило получить номограммы конфликтного приоритета ЛС НБ, приоритета ЛС ВБ и условия конфликтно-оптимального взаимодействия в зависимости от нарастания начальных численностей ЛС ВБ.

9. Включение в состав программной системы многокритериальной оптимизации многообъектных динамических систем «МОМДИС» новых интерфейсных и алгоритмических модулей для формирования модифицированных СТЭК на основе активных равновесий, моделей и алгоритмов комбинированного алгоритма управления ресурсами ЛС НБ, и ЛС ВБ, расширяет возможности процессов проектирования, многофакторного анализа и элементов реализации в рассматриваемой прикладной задаче.

Использование результатов работы.

Разработанные алгоритмы, а также модифицированная ПС «МОМДИС» применяются в фундаментальных научных исследованиях и в учебном процессе на кафедре ИУ-1 МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках дисциплин «Оптимизация управления ММС» и «Системы управления соединениями ЛА», а также в учебном процессе на кафедре «Кибернетика и мехатроника» РУДН в рамках дисциплины «Системный анализ в интеллектуальных системах управления».

Апробация результатов работы выполнена на Десятом международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» (Вологда, 2012 г.); на II Всеукраинской научно-практической конференции «Системный анализ, информатика, управление» (Украина, Запорожье, 2011 г.); на Всероссийской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Студенческая весна» МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, 2012 г.). Основные результаты диссертации отражены в 6 научных работах, в том числе, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 409 страницах, в том числе основного текста 242 страниц, 176 рисунка, 98 таблиц, библиографический список из 239 наименований и 167 страниц приложения.

Основные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения:

(1) структура и комплексная математическая модель многорубежной конфликтной ситуации ЗРС «Пэтриот» (ЛС НБ) и авиационно-ракетной группировки для (ЛС ВБ) для которой реализован обобщенный комбинированный совместный алгоритм управления ресурсами КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП);

(2) методика решения многокритериальных задач назначения на основе «идеальной» точки и компромисса по точности и быстродействию;

(3) оптимальный быстродействующий алгоритм назначения-ранжирования в комбинированных информационных условиях с многокритериальным ранжированием и задачи назначения пониженной размерности;

(4) комбинированный совместный конфликтно-оптимальный многорубежный алгоритм управления ресурсами в форме КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) на основе локального и глобального прогноза;

(5) обобщенные модифицированные СТЭК на основе активных равновесий, быстродействующие алгоритмы получения равновесий по Нэшу и в форме УКУ, а также обобщенный алгоритм СТЭК на основе УКУ;

(6) методика динамической самоорганизации в конфликте с получением позиционных равновесных управлений ресурсами на основе многопрограммной стабилизации;

(7) программная система «МОМДИС» с расширенным набором интерфейсных и модельных алгоритмических модулей управления ресурсами систем в конфликте;

(8) версия программной реализации многорубежной модели конфликтно-оптимального взаимодействия ЗРС «Пэтриот» ЛС НБ и АР ГУСП на основе полученного совместного комбинированного алгоритма управления ресурсами сторон;

(9) многофакторный анализ эффективности конфликтного взаимодействия ЗРС «Пэтриот» ЛС НБ и АР ГУСП с влиянием тактики, начальных численностей, мощности средств РЭП (РЭБ), эффективности поражения и др. с формированием позиционных зависимостей управлений ресурсами от данных факторов и их обобщением на основе динамической самоорганизации конфликта, а также с анализом направления формирования базы данных по управлению ресурсами конфликтующих сторон.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. **В первой главе** (*пункт 1.1*) на основе общего анализа структурных свойств, особенностей развития мобильных ракетных комплексов и классификации МСЛА выбран класс структурно сложных задач управления на верхнем уровне иерархической конфликтной ситуации взаимодействия двух МСЛА в форме двухкоалиционной ММС с многокритериальной оптимизацией управления ресурсами наземного базирования семейства ЗРС «Пэтриот», оснащенной ЗУР большой и средней дальности (БД, СД), пусковыми установками (ПУ), многофункциональными (МФ) РЛС с фазированной решеткой, комплексами РЭП, РЛС командных пунктов (КП) и другими средствами и противодействующей авиационно-ракетной группировки управляемых средств поражения АР ГУСП воздушного базирования (ЛС ВБ) с тактическими ракетами пассивного и активного наведения (ТРПН, ТРАН) с комплексами РЭБ и подгруппой пассивных объектов, действующих за линией НБ (подразделения штурмовиков (ПШ), НУА, ГЧБР и др.), и формируется конфигурационная модель указанных конфликтно взаимодействующих ЛС НБ и ЛС ВБ.

Анализируется структура управления ресурсами (целераспределение ЗУР ЗРС на активные и пассивные объекты АР ГУСП с учетом КС-РЦ-ЦР-ОПДК, воздействие комплексов РЭП на эффективность АР ГУСП) двухрубежной ЗРС «Пэтриот» для эффективного противодействия АР ГУСП, которая аналогично целераспределяет ТРПН и ТРАН и поражает наземные объекты ЛС НБ, а также ракеты воздух-воздух (РВВ) на ЗУР ЗРС БД, и «подавляет» средствами РЭБ эффективность ЗУР ЗРС БД и СД.

Анализ конфигурации систем позволяет сформировать следующую общую структурную схему конфликта (рис. 1), где каждая ЛС имеет активные, пассивные и активно-пассивные объекты (РЭБ/РЭП), причем активные средства одной ЛС могут воздействовать на все объекты другой стороны.

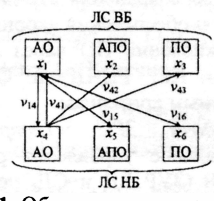


Рис. 1. Общая структурная схема конфликтной ситуации

На рис. 1: $x_i(t) > 0$ - текущая средняя численность объектов i-го типа; v_{ij} - доля объектов i-го типа, выделенных для воздействия по объектам j-го типа; управляющие функции v_{ij} удовлетворяют следующим ограничениям:

$$\sum_j v_{ij} = 1,\ \forall i = \{1;4\}, 0 \le v_{ij} \le 1.$$

В *пункте 1.2* в рамках основной задачи конфликтно-оптимального динамического управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ, как обобщенного структурированного ЦР анализируется структура существующего алгоритма распределения ресурсов (РР), состоящего из комбинации ЦР и прогноза конфликта. Рассмотрены существующие подходы к описанию прогноза конфликта на основе динамики средних численностей, в рамках которой сформирована общая структурная схема конфликта (рис. 1).

Одной из основных задач управления ресурсами является ЦР.

Обобщение методов оптимизации управления ресурсами сторон связано, прежде всего, с совершенствованием алгоритмов ЦР в направлениях:

1) методов решения многокритериальной задач ЦР с учетом расширяющегося набора требований: векторной эффективности, опасности и важности целей и др ;

2) детализации учета текущих конфигураций систем от рубежности ЛС НБ до многозалпового применения активных средств на рубеже обороны;

3) влияния на ЦР развивающихся методов конфликтного взаимодействия и прогноза.

Соединение процессов ЦР и прогноза позволяет корректировать и структурировать ЦР с учетом оценки и балансировки потенциального ущерба конфликтующих ЛС НБ и ЛС ВБ с комплексированием управляющих параметров прогноза $\{v_{ij}\}$ и ЦР $\{\gamma_{ij}\}$ сторон.

В главе развивается общая структура совместного комбинированного алгоритма КС-ЦР-ОПДК, в которой распределение ресурсов в виде матрицы назначения $\{\gamma_{ij}\}$ корректируется управляющими параметрами ОПДК с учетом текущей КС. Схема оптимизации управления ресурсами на комбинированном векторе управляющих параметров дана на рис. 2.



Рис. 2. Общая схема совместного алгоритма оптимизации управления ресурсами

В *пункте 1.3* структура данного алгоритма обобщается в виде многоэтапного комбинированного совместного алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП), дана постановка задачи конфликтно-оптимального управления ресурсами ЗРС «Пэтриот» и АР ГУСП, сформирована математическая модель двухрубежного конфликтного взаимодействия и выбраны векторные показатели сторон.

Схема взаимодействия ЛС НБ и ЛС ВБ дана на рис. 3.

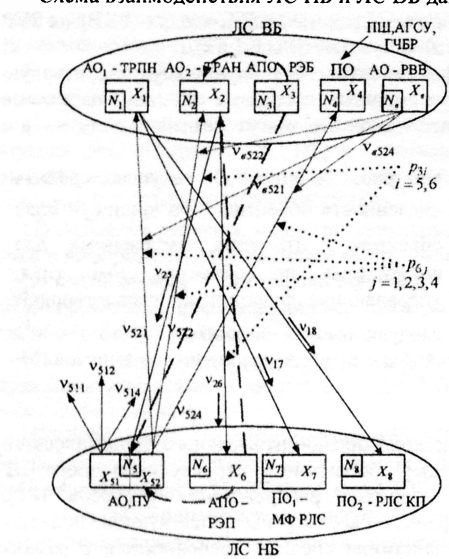


Рис. 3. Общая схема взаимодействия батареи ЗРС «Пэтриот» – АР ГУСП

Задача АР ГУСП – управление ресурсами ЛС ВБ (ЦР для ТРПН, ТРАН, РВВ; и применение комплексов РЭБ) с целью обеспечения максимальных потерь ЛС НБ, сохранения АО и ПО АР ГУСП и обеспечения «коридора» для проникновения ПО через ЛС НБ с учетом КС, РЦ-ЦР и ОПДК по векторным критериям.

Задача ЗРС «Пэтриот» – оптимальное управления ресурсами ЛС НБ (ЗУР БД и СД, применение комплексов РЭП) для сохранения боеспособности ЛС НБ на отражении налета ЛС ВБ, с учетом КС, двухрубежной обороны, РЦ-ЦР и ОПДК по векторным критериям.

На рис. 3: ---> – влияние вероятности поражения ЗУР ЛС НБ и ТРАН ЛС ВБ при РЭБ и РЭП).

Групповой состав ЛС ВБ: $X_1(t_0)$ – количество ТРПН для поражения МФ РЛС и комплексов РЭП; $x_i(N_i), i=\overline{1,8}$, $x_e(N_e)$ – текущая (начальная) численность, $x_i(t_0)=N_i, i=\overline{1,8}$, $x_i(t_0)=N_e$. x_i – количество объектов каждого типа; v_{ij} – доля i-х средств выделенные на поражение объектов j-го типа (управляющие параметры) с номинальной вероятностью поражения p_{ij}. $X_2(t_0)$ - количество ТРАН для поражения наземных объектов ЛС НБ ПУ, КП и др.; $X_3(t_0)$ – количество комплексов РЭБ; $X_4(t_0)$ - количество ПО ЛС ВБ; $X_e(t_0)$ - количество РВВ, для поражения ЗУР БД (защита ПО, ТРПН и ТРАН ЛС ВБ).

Групповой состав ЛС НБ: $X_5(t_0)=X_{51}(t_0)+X_{52}(t_0)$ – общее количество ЗУР ЗРС ($X_{51}(t_0)$ – канальность комплексов ЗРС СД; $X_{52}(t_0)$ – канальность комплексов ЗРС БД); $X_6(t_0)$ – количество комплексов РЭП ЗРС; $X_7(t_0)$ – количество МФ РЛС с фазированной решеткой; $X_8(t_0)$ – количество РЛС КП; $p_{3i}, i=5,6$ – вероятность поражения ТРАН объектов ЛС НБ с учетом влияния РЭП и РЭБ; $p_{6j}, j=1,2,3,4$ – вероятность поражения ЗУР объектов ЛС ВБ с учетом влияния РЭБ и РЭП.

Математическая модель динамики средних численностей на БД с учетом структуры алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) сформирована в виде следующей системы

$$\begin{cases} X_1(t_1)=X_1(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_1(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_{521}(t_d)} P_{521}^{\theta\psi}\gamma_{521}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{521}^{НБ}, \\ X_2(t_1)=X_2(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_2(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_{522}(t_d)} P_{522}^{\theta\psi}\gamma_{522}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{522}^{НБ}, \qquad \underset{(НБ)}{ЦР}: \begin{cases} \sum_{\theta,\psi} P_{ij}^{\theta\psi}\cdot\gamma_{ij}^{\theta\psi}\to\max \\ \sum_{\theta,\psi}\gamma_{ij}^{\theta\psi}=X_i(t_d) \\ i=52, j=1,2,4. \end{cases} \\ X_4(t_1)=X_4(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_4(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_{524}(t_d)} P_{524}^{\theta\psi}\gamma_{524}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{524}^{НБ}, \\ X_{521}(t_d)=\nu_{521}\cdot X_{52}(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_{521}(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_e(t_0)} P_{e521}^{\theta\psi}\gamma_{e521}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{521}^{ВБ}, \\ X_{522}(t_d)=\nu_{522}\cdot X_{52}(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_{522}(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_e(t_0)} P_{e522}^{\theta\psi}\gamma_{e522}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{e522}^{ВБ}, \quad \underset{(ВБ)}{ЦР}: \begin{cases} \sum_{\theta,\psi} P_{ij}^{\theta\psi}\cdot\gamma_{ij}^{\theta\psi}\to\max \\ \sum_{\theta,\psi}\gamma_{ij}^{\theta\psi}=\nu_{ij}\cdot X_e(t_0) \\ i=e52, j=1,2,4. \end{cases} \\ X_{524}(t_d)=\nu_{524}\cdot X_{52}(t_0)-\left(\sum_{\psi=1}^{X_{524}(t_0)}\sum_{\theta=1}^{X_e(t_0)} P_{e524}^{\theta\psi}\gamma_{e524}^{\theta\psi}\right)\cdot l_{e524}^{ВБ}, \end{cases} \tag{1}$$

В системе (1): $t_d\in(t_0,t_1)$ – внутренний момент времени перехвата ЗУР БД X_{52} ракеты РВВ X_e на интервале БД (t_0,t_1); $X_{52j}(t_d), j=1,2,4$ – численность ЗУР БД, сохранившихся в момент времени t_d. Величины l_{ij} характеризуют влияние РЭБ и РЭП,

$$l_{ij}^{ВБ}=e^{-\mu_i^{*}\cdot\lambda_{РЭП}}\cdot e^{-\mu_j^{*}\cdot\lambda_{РЭБ}}, i=2, j=5,6.\ ; l_{ij}^{НБ}=e^{-\mu_i^{**}\cdot\lambda_{РЭП}}\cdot e^{-\mu_j^{**}\cdot\lambda_{РЭБ}}, i=5_{1,2}, j=1,2,4. \tag{2}$$

где μ_i^{*},μ_j^{*} – коэффициенты активного влияния РЭП ЛС НБ и негативного влияния РЭБ ЛС ВБ на ТРАН; а μ_i^{**},μ_j^{**} – коэффициенты негативного влияния РЭП ЛС НБ и активного влияния РЭБ ЛС ВБ на ЗУР ЗРС; $\lambda^{РЭБ},\lambda^{РЭП}$ – мощность комплексов. В системе (1) указаны встроенные в ПДК алгоритмы ЦР с ранжированием цели и учетом КС (объект i, находящийся в точке θ, поражает объект j, находящийся в точке ψ).

Показатели потерь (J) в ОПДК имеют смысл суммарного перевеса противника по активным и пассивным средствам и контроля скорости убывания его активных средств:

$$\begin{aligned} J_{ВБ}=J_1=a_{11}\left[X_{51}^2(t_d)-X_1^2(t_1)\right]+a_{12}\left[X_{52}^2(t_d)-X_2^2(t_1)\right]+a_{13}\left[\nu_{524}^2X_{52}^2(t_d)-X_4^2(t_1)\right]+a_{14}\left[X_{52}^2(t_d)\right]\to\min_{\nu_{ВБ}}; \\ J_{НБ}=J_2=a_{21}\left[X_1^2(t_1)-X_{51}^2(t_d)\right]+a_{22}\left[X_2^2(t_1)-X_{52}^2(t_d)\right]+a_{23}\left[X_4^2(t_1)-\nu_{524}^2X_{52}^2(t_d)\right]+a_{24}\left[X_4^2(t_1)\right]\to\min_{\nu_{НБ}}. \end{aligned} \tag{3}$$

Весовые коэффициенты имеют смысл тактических приоритетов.

Математическая модель динамики средних на СД с аналогичным включением всех этапов представлена системой (4), где t_2 – терминальный момент времени; t_{2d} – момент времени после перехвата ЗУР ЗРС объектов АР ГУСП.

$$
\begin{cases}
X_1(t_{2d}) = X_1(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_1(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_{51}(t_1)} P_{511}^{\theta\psi} \gamma_{511}^{\theta\psi} \right) \cdot I_{511}^{НБ}, \\
X_2(t_{2d}) = X_2(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_2(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_{51}(t_1)} P_{512}^{\theta\psi} \gamma_{512}^{\theta\psi} \right) \cdot I_{512}^{НБ}, \qquad \underset{(НБ)}{ЦР}: \begin{cases} \sum\limits_{\theta,\psi} P_{ij}^{\theta\psi} \gamma_{ij}^{\theta\psi} \to \max \\ \sum\limits_{\theta,\psi} \gamma_{ij}^{\theta\psi} = \nu_{ij} \cdot X_{51}(t_1) \\ i = 51, j = 1,2,4 \end{cases} \\
X_4(t_2) = X_4(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_4(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_{51}(t_1)} P_{514}^{\theta\psi} \gamma_{514}^{\theta\psi} \right) \cdot I_{514}^{НБ}, \\
X_3(t_2) = X_3(t_1), X_{51}(t_2) = 0, \\
X_{ПУ}(t_2) = X_{ПУ}(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_{ПУ}(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_2(t_{2d})} P_{2ПУ}^{\theta\psi} \gamma_{2ПУ}^{\theta\psi} \right) \cdot I_{2ПУ}^{ВБ}, \\
X_6(t_2) = X_6(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_6(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_2(t_{2d})} P_{26}^{\theta\psi} \gamma_{26}^{\theta\psi} \right) \cdot I_{26}^{ВБ}, \qquad \underset{(ВБ)}{ЦР}: \begin{cases} \sum\limits_{\theta,\psi} P_{ij}^{\theta\psi} \gamma_{ij}^{\theta\psi} \to \max \\ \sum\limits_{\theta,\psi} \gamma_{ij}^{\theta\psi} = \nu_{ij} \cdot X_2(t_{2d}) \\ i = 2, j = ПУ, 6 \end{cases} \\
X_7(t_2) = X_7(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_7(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_1(t_{2d})} P_{17}^{\theta\psi} \gamma_{17}^{\theta\psi} \right), \\
X_8(t_2) = X_8(t_1) - \left(\sum\limits_{\psi=1}^{X_8(t_1)} \sum\limits_{\theta=1}^{X_1(t_{2d})} P_{18}^{\theta\psi} \gamma_{18}^{\theta\psi} \right), \\
\nu_{2ПУ} + \nu_{26} = 1; \nu_{17} + \nu_{18} = 1.
\end{cases} \tag{4}
$$

Критерии ОПДК для каждой системы имеют смысл минимизации перевеса по числу активных и пассивных объектов на момент окончания такта (тактов) взаимодействия (терминальные показатели):

$$
\begin{aligned}
J_{ВБ} = J_1 = {} & \alpha_{11}\left[\left(X_7^2(t_2) + X_8^2(t_2) \right) - X_1^2(t_2) \right] + \alpha_{12}\left[\left(X_6^2(t_2) + X_{ПУ}^2(t_2) \right) - X_2^2(t_2) \right] + \\
& + \alpha_{13}\left[X_5^2(t_2) - X_3^2(t_2) \right] + \alpha_{14}\left[X_{ПУ}^2(t_2) \right] \to \min_{\nu_{ВБ}}; \\
J_{НБ} = J_2 = {} & \alpha_{21}\left[X_1^2(t_2) - \left(X_7^2(t_2) + X_8^2(t_2) \right) \right] + \alpha_{22}\left[X_2^2(t_2) - \left(X_6^2(t_2) + X_{ПУ}^2(t_2) \right) \right] + \\
& + \alpha_{23}\left[X_3^2(t_2) - X_5^2(t_2) \right] + \alpha_{24}\left[X_1^2(t_2) + X_2^2(t_2) \right] \to \min_{\nu_{НБ}}.
\end{aligned} \tag{5}
$$

Приведенные показатели являются базовыми, и возможно расширение основных показателей, в частности – дополнительный учет математического ожидания количества и доли ПУ, получивших j-ую степень повреждения, математического ожидания оценки нанесенного ущерба ЗРС по j-й степени повреждения с учетом ранга комплексов и др.

Оптимизация конфликтно-оптимальных управлений ресурсами сторон (набор $\nu_{ij}^{\theta\psi}, \gamma_{ij}^{\theta\psi}$) в форме ОПДК включает в себя все этапы, предложенного многоэтапного алгоритма, базируется на рассматриваемой в главе теории и методах получения стабильных и эффективных решений, а также СТЭК на основе комбинации равновесий по Нэшу и в форме УКУ, а также эффективных решений по Парето и Шепли.

В *пунктах 1.4, 1.5* даны комплексные обзоры по методам решения задач, формирующих структуру КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) и по современным тактическим системам ЛС НБ и ЛС ВБ в конфликтной ситуации.

2. Во второй главе разрабатывается обобщенный метод конфликтно-оптимального управления ресурсами рассматриваемых структурно сложных группировок ЛС НБ и ЛС ВБ в форме предложенной в главе 1 многоэтапной структуры КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) с расширением класса равновесных решений, модификацией и обобщением СТЭК, разработкой оптимальных и субоптимальных алгоритмов на этапе ОПДК, с обобщением комбинированного метода решения скалярной задачи назначения, разработкой многокритериальной задачи назначения-ранжирования в комбинированных информационных

условиях и быстродействии на этапах РЦ-ЦР с учетом КС. На основе получения позиционных равновесий сформирован алгоритм динамической самоорганизации ПДК.

В *пункте 2.1* на этапе ЦР получена структура комбинированной скалярной задачи назначения на основе последовательного применения на множестве итерации приближенного «жадного» метода ($n>15$) или метода минимального элемента ($n<10\div15$) в зависимости от размерности n матрицы назначения с последующим точным методом Мака с компромиссом по быстродействию и точности. Исследовано алгоритмическое обеспечение многокритериальных (размерность m) задач назначения (МЗН) и получен алгоритм решения МЗН на основе векторного и реализованного метода компромисса относительно "идеальной" точки с аддитивными критериями, который сводится к последовательному решению ($m+1$) скалярных задач назначения.

В *пункте 2.2* на этапах РЦ-ЦР разработано алгоритмическое обеспечение многокритериальной задачи назначения-ранжирования (рис. 4) с учетом КС.

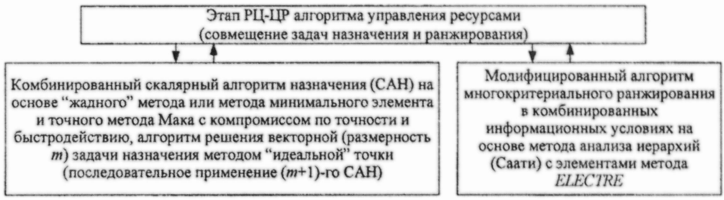


Рис. 4. Структура комбинированного алгоритма этапа РЦ-ЦР управления ресурсами

Для построения комбинированной процедуры РЦ-ЦР на первом этапе алгоритма РЦ-ЦР формируется ранжирование объектов ЛС ВБ по векторной (многофакторной) важности и опасности (дальность, подлётное время, высота, ракурс и др.). При комбинации информационных условий формируются несколько вариантов совмещения точных и экспертных оценок при сравнении критериев и альтернатив по модифицированному методу анализа иерархии (ММАИ). Дана структура разработанного алгоритма оценки многокритериальной значимости альтернатив ММАИ. На втором этапе сформированы варианты комбинации задач назначения и ранжирования в ЛС НБ при ограниченных возможностях обслуживания.

В *пункте 2.3* дана структура разработанного оптимального быстродействующего алгоритма РЦ-ЦР с учетом многокритериальной опасности целей на основе комбинации задачи ранжирования и задачи назначения пониженной размерности.

В *пункте 2.4* на этапе ОПДК-РЭБ (РЭП) на основе математических моделей и постановок (1), (3) и (4), (5) на БД и СД главы 1, а также полученных в пункте 2.2-2.3 результатов на этапе РЦ-ЦР с учетом КС разработана общая структура рубежного такта взаимодействия КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП), которая приведена рис. 5.

Полученный совместный алгоритм является сложным для реализации. Поэтому в *пункте 2.4* разработан обобщенный оптимальный алгоритм с глобальным и локальным прогнозом. При этом субоптимальный алгоритм уточняется до оптимального на малых изменениях численностей. Также получены версии приближений оптимального алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) с однорубежным и двухрубежным прогнозом, которые используются в расчетах главы 4 как базовые с возможностью их уточнений при необходимости на основе оптимального алгоритма.

Пункты 2.5, 2.6, 2.7 формируют новые результаты для этапа ОПДК.

В *пункте 2.5* рассматриваются вопросы расширения класса равновесных решений на основе активных равновесий, которые расширяют область существования равновесий и повышают быстродействие. Формируются модифицированные СТЭК на основе сильных и слабых активных равновесий. Исследованы возможности повышения быстродействия

алгоритмов получения классических равновесий по Нэшу и в форме УКУ на основе слабых и сильных активных равновесий не менее чем на 25–50%.

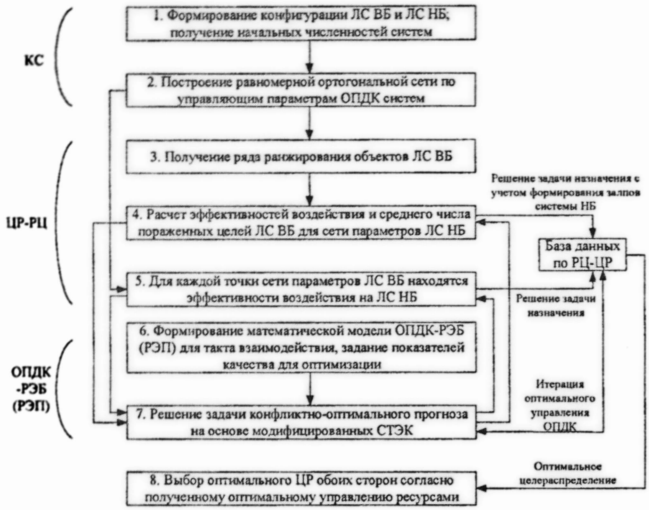


Рис. 5. Алгоритм КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) на рубеже конфликта ЛС ВБ и наземной системы ЛС НБ

В *пункте 2.6* получено обобщение известного двухэтапного алгоритма получения стабильно-эффективного компромисса на основе УКУ (СТЭК), сочетающего этапы получения сетевого начального приближения и его уточнения с использованием локальных УКУ (ЛУКУ) в окрестности сетевого приближения. Получена методика формирования свойств УКУ в форме ограничений при Парето-оптимизации вектора $\left(J_{\text{ВБ}}^{\text{УКУ}}, J_{\text{НБ}}^{\text{УКУ}}\right)$ в (3), (5) из начальной приближенной сетевой точки компромисса. Каждая следующая итерация Парето-оптимизации проверяется на сохранение свойств УКУ с помощью специальных ограничений

$$\begin{cases} -\alpha_{11}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{Б}_1} - \alpha_{12}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{Б}_2} + \alpha_{11}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{Б}_3} + \alpha_{12}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{Б}_4} + \alpha_{13}\cdot K_{\text{Б}_6} > 0, \\ \alpha_{21}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{Б}_1} + \alpha_{22}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{Б}_2} - \alpha_{21}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{Б}_3} - \alpha_{22}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{Б}_4} + \alpha_{23}\cdot K_{\text{Б}_6} < 0, \\ -\alpha_{11}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{А}_1} - \alpha_{12}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{А}_2} + \alpha_{11}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{А}_3} + \alpha_{12}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{А}_4} + \alpha_{13}\cdot K_{\text{Б}_6} \neq 0, \\ \alpha_{21}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{А}_1} + \alpha_{22}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{А}_2} - \alpha_{21}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{А}_3} - \alpha_{22}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{А}_4} + \alpha_{23}\cdot K_{\text{А}_5} > 0, \\ -\alpha_{11}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{А}_1} - \alpha_{12}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{А}_2} + \alpha_{11}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{А}_3} + \alpha_{12}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{А}_4} + \alpha_{13}\cdot K_{\text{А}_5} < 0, \\ \alpha_{21}\cdot x_1^0\cdot K_{\text{Б}_1} + \alpha_{22}\cdot x_2^0\cdot K_{\text{Б}_2} - \alpha_{21}\cdot x_3^0\cdot K_{\text{Б}_3} - \alpha_{22}\cdot x_4^0\cdot K_{\text{Б}_4} + \alpha_{23}\cdot K_{E_6} \neq 0. \end{cases} \quad (6)$$

где $K_{\text{Б}_1} = \int_{t_0}^{T} \text{ch}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\cdot\left(-P_{31}\cdot x_3^0\right)\cdot dt, K_{\text{Б}_2} = \int_{t_0}^{T}\left[\frac{d}{c}\cdot\left\{\left[\text{ch}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)-1\right]\cdot\left(-P_{31}\cdot x_3^0\right)\right\}+\left(P_{32}\cdot x_3^0\right)\right]\cdot dt,$

$K_{\text{Б}_3} = \int_{t_0}^{T}\sqrt{\frac{a}{c}}\cdot\text{sh}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\cdot\left(-P_{31}\cdot x_3^0\right)\cdot dt,\ K_{\text{Б}_4} = \int_{t_0}^{T}\frac{b}{\sqrt{ac}}\cdot\text{sh}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\cdot\left(-P_{31}\cdot x_3^0\right)\cdot dt,$

$K_{\text{Б}_5} = 0, K_{\text{Б}_6} = \int_{t_0}^{T}(T-t)\cdot\left(-P_{31}\cdot x_3^0\right)\cdot dt;\ K_{\text{А}_1} = \int_{t_0}^{T}\sqrt{\frac{c}{a}}\cdot\text{sh}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\cdot\left(-P_{13}\cdot x_1^0\right)\cdot dt,$

$K_{\text{А}_2} = \int_{t_0}^{T}\frac{d}{\sqrt{ac}}\cdot\text{sh}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\cdot\left(-P_{13}\cdot x_1^0\right)\cdot dt,\ K_{\text{А}_3} = \int_{t_0}^{T}\left[\text{ch}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)\right]\cdot\left(-P_{13}\cdot x_1^0\right)\cdot dt,$

$$K_{A_4}=\int_{t_0}^{T}\left[\frac{b}{a}\cdot\left\{\left[\mathrm{ch}\left(\sqrt{ac}\cdot(T-t)\right)-1\right]\cdot(-P_{13}\cdot x_1^0)\right\}+(P_{14}\cdot x_1^0)\right]\cdot dt,\ K_{A_5}=\int_{t_0}^{T}(T-t)\cdot\left(-P_{13}\cdot x_1^0\right)\cdot dt, K_{A_6}=0.$$

a,b,c,d – известные величины; x_i^0 – оптимальные численности; $T=t_2$.

Обобщения ограничений получены на основе модифицированных достаточных условий ЛУКУ при расширении вектора показателей в скаляризованных $J_{\text{ВБ}}$ и $J_{\text{НБ}}$, которая позволяет получить точный СТЭК и управления ресурсами на этапе ОПДК.

В *пункте 2.7* разработана методика динамической самоорганизации конфликтного взаимодействия ЛС ВБ, ЛС НБ, которая ускоряет процессы прогноза на этапе ОПДК. Ускорение достигается за счет того, что равновесные управления ресурсами на этапе ОПДК получены на основе метода многопрограммной стабилизации, как позиционные управления $\mathbf{u}(\mathbf{x})=v^r(x)$, где

$$\mathbf{u}(\mathbf{x},t)=\sum_{k=1}^{N}\left(\mathbf{u}_k^r(t)+\mathbf{C}_k(t)\left(\mathbf{x}(t)-\mathbf{x}_k^r(t)\right)-2\mathbf{u}_k^r\sum_{s=1,s\neq k}^{N}\frac{\left(\mathbf{x}_k^r(t)-\mathbf{x}_s^r(t)\right)\cdot\left(\mathbf{x}(t)-\mathbf{x}_k^r(t)\right)}{\left(\mathbf{x}_k^r(t)-\mathbf{x}_s^r(t)\right)^2}\right)\prod_{l=1,l\neq s}^{N}\frac{\left(\mathbf{x}(t)-\mathbf{x}_l^r(t)\right)^2}{\left(\mathbf{x}_k^r(t)-\mathbf{x}_l^r(t)\right)^2}.$$

Таким образом, управления являются функциями текущих численностей $\mathbf{x}(t)$ АО и ПО ЛС ВБ и ЛС НБ, стабилизируемых известными наборами $\mathbf{u}_k^r(t),\mathbf{x}_k(t),k=\overline{1,N}$ при N вариантах начальных условий $\mathbf{x}_k(t_0)$, что позволяет не пересчитывать управления при залповом обмене ЛС НБ и ЛС ВБ, так как имеет место автоматическая балансировка структуры ЛС ВБ – ЛС НБ по эффективности при изменении численностей (динамическая самоорганизация данной структурно сложной системы).

3. Третья глава посвящена разработке программных систем для исследования этапов алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) конфликтно-оптимального взаимодействия ЗРС «Пэтриот» и АР ГУСП при проектировании и их применения в процессе конфликта.

В *пункте 3.1* анализируется модифицированная структура программного обеспечения для анализа и оптимизации этапов многоэтапного алгоритма в форме программной системы многокритериальной оптимизации многообъектных динамических систем ПС «МОМДИС», функционирующей в программной среде *Matlab*, предназначенной, прежде всего, для исследования процессов этапа ОПДК. Структура ПС «МОМДИС» дана на рис. 6.

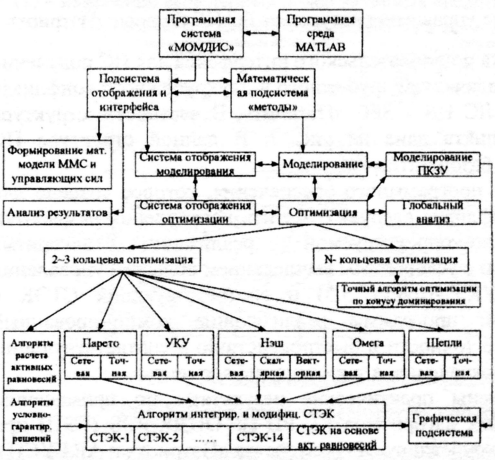


Рис. 6. Структура ПС «МОМДИС»

Данная система содержит две основные подсистемы: подсистему отображения и интерфейса и математическую подсистему. В данных подсистемах программно реализуются процессы задания математической модели, моделирования и оптимизации с получением равновесных и Парето-оптимальных управлений ресурсами в приближенном (сетевом) и точном виде и с получением семейства СТЭК.

ПС «МОМДИС» позволяет получать программные управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ, и законы управления ресурсами в приближенной программно-корректируемой и точной позиционной форме.

Последнее составляет один из этапов модификации оптимизационной подсистемы ПС «МОМДИС». Другими элементами являются: разработка подпрограмм для получения модифицированных СТЭК, и процедуры автоматизированной нормировки показателей при векторной оптимизации, а также изменения плотности сети при глобальном анализе.

В *пункте 3.2* для изучения и моделирования решения задач назначения была разработана структура программы и последовательности расчета оптимального многокритериального ЦР для аддитивных и минимаксных критериев на основе программной реализации скалярных приближенных методов, в том числе полученного в главе 2 комбинированного метода («жадный» алгоритм, алгоритм выбора минимального элемента и алгоритм Мака).

В том же пункте представлена программа реализации алгоритма РЦ на основе модифицированного метода анализа иерархий.

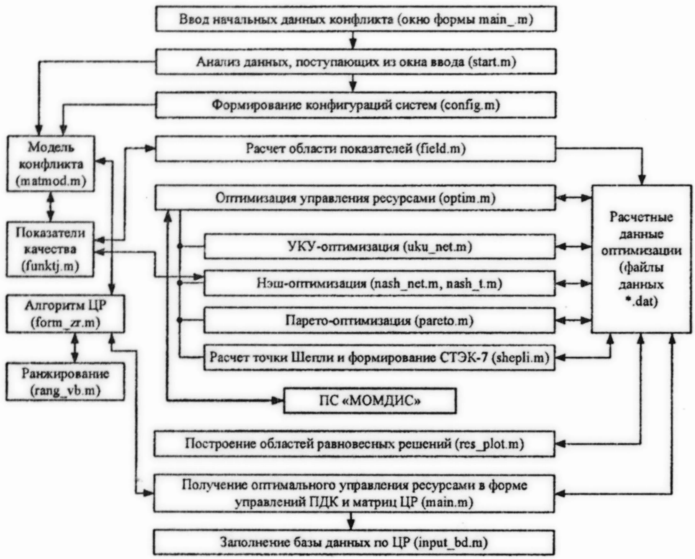


Рис. 7. Структура программной системы управления ресурсами ЛС НБ батареи «Пэтриот»

В *пункте 3.3* представлена разработка пользовательского интерфейса для ПС получения оптимальных управлений ресурсами в задачах однорубежного и двухрубежного конфликта взаимодействия ЛС ВБ – АР ГУСП и ЛС НБ – ЗРС «Пэтриот». В частности, структура полученной ПС однорубежного конфликта дана на рис. 7. В данной структуре ПС «МОМДИС» является алгоритмической базой оптимизации.

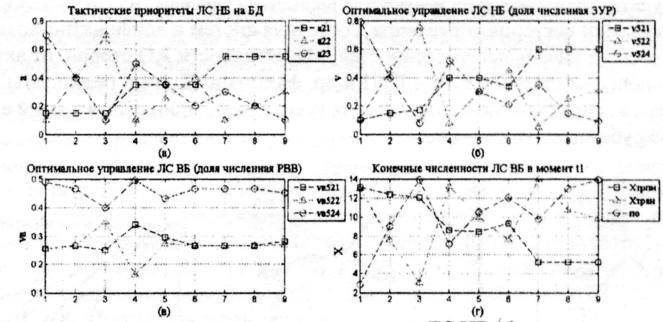
В рамках разработанных элементов программного обеспечения, которое создано для применения в процессе реализации конфликта следует отметить направления разработки базы данных для программно-корректируемой реализации алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП); программы с ускоренным вычислением областей управления ресурсами на основе модификации УКУ (пункт 3.5) и соответствующих СТЭК с использованием активных равновесий; программы реализующие комбинированный алгоритм назначения с компромиссом по точности и быстродействию и соответствующим ускорением решения векторной задачи назначения, а также другие элементы.

4. В четвертой главе представлены практические результаты по применению разработанных совместных многоэтапных алгоритмов КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) при оптимальном управлении ресурсами двухрубежного ЗРС семейства «Пэтриот» и АР ГУСП в конфликтной ситуации с многофакторным анализом эффективности конфликтного

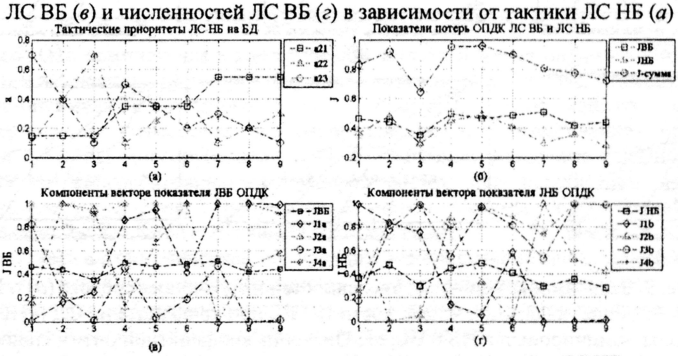
взаимодействия и получением на его основе субоптимальных многофакторных позиционных связей, обеспечивающих приближение к реальному времени.

В *пункте 4.1* проводится анализ эффективности метода многокритериального ранжирования целей для исследования многофакторной опасности целей АР ГУСП в комбинированных информационных с предварительным применением вероятностного обобщенного учета конфигураций АР ГУСП и батареи ЗРС. Формируются ряды ранжирования с учетом расстояний, скоростей, подлетного времени и ракурса целей.

В *пункте 4.2* получены результаты конфликтно-оптимального управления ресурсами в базовом варианте последовательной двухрубежной обороны на БД и СД с окончательным получением матриц РЦ-ЦР с учетом КС-РЦ-ЦР-ОПДК, без учета и с учетом РЭБ (РЭП). В базовом варианте на БД АР ГУСП (ЛС ВБ) отдает предпочтение поражению ракетами ВВ доли ЗУР ЗРС, выделенных для поражения ПО АР ГУСП, в соответствии с тактическим приоритетом базового варианта. ЗРС стремится равномерно распределить ЗУР между тремя типами (ТРПН, ТРАН, ПО) объектов АР ГУСП. На последующей СД АР ГУСП стремится поразить МФ РЛС и ПУ. ЗРС большей частью ЗУР поражает ПО ЛС ВБ в соответствии с приоритетом тактики ПО и значительно уменьшает численность ТРАН и ТРПН для сохранения наземных объектов ЗРС. В данном пункте в 11 экспериментах выполнен анализ вариаций базового варианта по тактике, соотношению численностей, эффективности поражения ПО сторон, соотношения мощностей РЭБ и РЭП. Выявлено их существенное влияние на результаты конфликта.



(1) – изменение выделенных долей активных средств ЛС НБ (*б*), выделенных долей РВВ ЛС ВБ (*в*) и численностей ЛС ВБ (*г*) в зависимости от тактики ЛС НБ (*а*)



(2) – изменение показателей потерь сторон от тактики ЛС НБ

Рис. 8. Результаты экспериментов при изменении тактики ЛС НБ

В *пункте 4.3* выполнен многофакторный анализ динамического влияния тактики, начальных численностей, вероятности поражения АО сторон, мощности комплексов РЭБ

(РЭП) и др. факторов на вектора оптимального управления ресурсами ОПДК, конечных численностей, и показателей эффективности с оптимизацией тактики и получением позиционного прогноза управления ЛС ВБ и ЛС НБ от тактики, начальных численностей, вероятности поражения и других факторов. Один из вариантов выбора оптимальной тактики ЛС НБ на БД при фиксировании тактики ЛС ВБ представлен на рис. 8.

Как следует из рис. 8, минимальный результат по суммарным потерям (2–(*б*)) и потерям ЛС НБ и ЛС ВБ достигается в эксперименте 3. Но для данного эксперимента число оставшихся ПО ЛС ВБ (главных целей ЛС НБ) после взаимодействия на БД велико (1–(*г*)). Для того чтобы повысить сбалансированность решения по общему числу пораженных объектов ЛС ВБ необходимо перейти к варианту тактики, при котором достаточно большое значение пораженных объектов ЛС ВБ соответствовало приемлемому по значению показателю потерь ЛС НБ. Анализ показателей, что эксперименты № 1-4 и 7-9 не соответствуют данному условию. В эксперименте №6 суммарное число пораженных ТРПН и ТРАН незначительно больше, но меньше чем в эксперименте №5 поражено ПО ЛС ВБ наиболее важных для ЛС НБ. Поэтому *оптимальная тактика* в эксперименте № (рис. 8. (1–(*а*))). В результате формируется пропорциональное поражение всех объектов ЛС ВБ. Тактика ЛС ВБ для данного эксперимента также будет приемлемой (преимущество по защите ПО ЛС ВБ обеспечено). Система результатов рис. 8 позволяет получить *вариант позиционного прогноза долей ЗУР ЛС НБ от конечных на БД численностей ЛС ВБ и долей АО ЛС ВБ*. Результат обобщается на множестве вариантов тактики ЛС ВБ. В данном пункте получены зависимости векторов управления, состояния систем и конфликтно-оптимальных показателей систем от начальных численностей, эффективности АО сторон, от активного и негативного влияния комплексов РЭБ и РЭП и др. факторов. Данные результаты являются основой базы данных конфликтной ситуации для ускоренного принятия решений в процессе реализации двухрубежного конфликта.

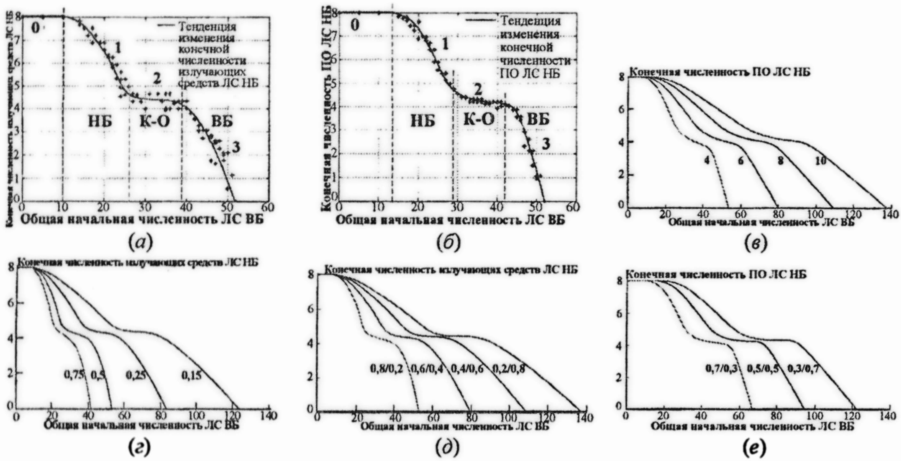


Рис. 9. Зависимость конечных численностей излучающих средств (*а*) и ПО (*б*) ЛС НБ от общей начальной численности ЛС ВБ при конфликте на СД («НБ», «ВБ» – зоны доминирования НБ и ВБ; «К-О» – зона конфликтной оптимальности); (*в*), (*г*), (*д*), (*е*) – зависимости численности излучающих средств и пассивных объектов ЛС НБ от общей начальной численности ЛС ВБ при изменении начальных параметров конфликта: (*в*) – канальность комплексов ЛС НБ; (*г*) – начальные эффективности воздействия ЛС ВБ по объектам ЛС НБ; (*д*), (*е*) – тактика ЛС НБ, для поражения активных и пассивных объектов ЛС ВБ

В *пункте 4.4* (рис. 9) получены номограммы взаимосвязей исходной численности АРГ (ЛС ВБ) с результатом ущерба ЗРС (ЛС НБ) по конечной численности излучающих средств ЛС НБ и конечной численности ПО ЛС НБ; а также выделены зоны доминирования ЛС НБ или ЛС ВБ, а также зоны существования конфликтно-оптимальных решений для ЛС ВБ и ЛС НБ от начальной численности ЛС ВБ. На рис. 9 приведены также четыре вариации номограмм в зависимости от канальности комплексов ЗРС, эффективностей воздействия ЛС ВБ на объекты ЛС НБ, тактики ЛС НБ по приоритету поражения АО и ПО ЛС ВБ, позволяющие выбрать рациональные условия действий в конфликтной ситуации.

В *пункте 4.5* выполнено двухрубежное моделирование комплексного алгоритма КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) для ЛС НБ в условиях насыщенного налёта ЛС ВБ на основе оптимальной тактики и позиционного прогноза для оценки его работоспособности и эффективности.

В *пункте 4.6* рассмотрено применение метода динамической самоорганизации с получением точного оптимального позиционного равновесного результата $\nu_y(\mathbf{x},t)$ ($i=1,2$), как функции текущих численностей $\mathbf{x}$ многозалпового обмена с «притягивающими свойствами» N многокритериальных оптимальных программ $\nu^r_{iyk}(t)$ ($i=1,2$) и оптимальными траекториями численностей соответствующим $\mathbf{x}_k(t)$. Самоорганизация заключается в перспективной конфликтно-оптимальной балансировке структуры ЛС ВБ и ЛС НБ по эффективности в зависимости от текущих численностей АО и ПО ЛС НБ и ЛС ВБ.

В *пункте 4.7* исследуется результат повышения быстродействия получения СТЭК на основе активных равновесий на 45% при оптимизации управления ресурсами ЗРС и АР ГУСП. В *пункте 4.8* сформированы упрощенные варианты имитационного моделирования конфликтного взаимодействия для анализа сокращения времени на залповом такте развития конфликта при использовании оптимального управления ресурсами ЗРС «Пэтриот».

В Приложениях производятся материалы, поясняющие основные положения разделов диссертационной работы (обзор по современным зарубежным зенитно-ракетным комплексам; основные понятия и определения СТЭК; анализ конфигурационных свойств систем на этапе КС; алгоритмы решения задачи назначения; многоэтапный комплексированный алгоритм КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) на рубеже конфликтного взаимодействия; программная система МОМДИС для исследования процессов ОПДК; результаты многофакторного анализа конфликтного взаимодействия АР ГУСП ЛС ВБ и ЗРС «Пэтриот» ЛС НБ, а также другие материалы).

Основные результаты работы

1. Разработана комплексная математическая модель и метод оптимизации управления ресурсами конфликтно взаимодействующих систем на основе комбинированного конфликтно-оптимального многоэтапного процесса включающего обобщенное многокритериальное совместное целераспределение и ранжирование, оптимальный совместный с ЦР-РЦ многорубежный прогноз динамики конфликта (ОПДК) для учета потенциального многокритериального ущерба систем при порубежном программном корректируемом управлении с обобщенным учетом текущих конфигураций систем и управления мощностью РЭБ (РЭП) конфликтующих систем.

2. Разработано алгоритмическое обеспечение многокритериальной задачи назначения–ранжирования целей в комбинированных информационных условиях, предложена быстродействующая субоптимальная версия алгоритма с учетом многокритериальной опасности целей и задачи назначения пониженной размерности.

3. Разработаны обобщенные варианты стабильно-эффективных компромиссов (СТЭК) этапа ОПДК:

- обобщенный алгоритм получения СТЭК на основе комбинации Парето-Нэш-УКУ-Шепли решений с двухэтапным процессом получения области УКУ при расширенном векторе показателей;

• обобщенный алгоритм получения СТЭК с повышенным быстродействием и расширенной областью существования равновесий на основе слабых и сильных активных равновесий;

• обобщенный алгоритм получения СТЭК на основе активных равновесий при отсутствии равновесия по Нэшу.

4. Разработана методика динамической самоорганизации с позиционной балансировкой эффективности в рассматриваемой структуре ММС на основе позиционных равновесных управлений ресурсами конфликтующих систем на этапе ОПДК полученных методами многопрограммной стабилизации.

5. С учетом проведенных исследований дополнена специализированная программная система многокритериальной оптимизации многообъектных динамических систем «МОМДИС».

6. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение обобщенной совместной комбинированной задачи КС-РЦ-ЦР-ОПДК-РЭБ (РЭП) конфликтного взаимодействия наземной системы ЗРС «Пэтриот» ЛС НБ и АР ГУСП ЛС ВБ. Реализованы эффективные алгоритмы управления ресурсами сторон при порубежном взаимодействии систем. Исследована эффективность конфликтно-оптимального взаимодействия систем на основе сравнительного многофакторного анализа вариаций при двухрубежной динамике систем с базовым вариантом конфигурации.

7. Выполнен многофакторный анализ влияния тактики, начальных численностей, мощности средств РЭБ (РЭП), эффективности средств поражения и других факторов на вектора управления ресурсами систем, конечные численности и вектора эффективности (потерь) с формированием методики получения и обобщения позиционных зависимостей указанных векторов и конечных численностей от указанных факторов как основы формирования направления создания базы данных противодействия для обеспечения реального времени оптимального управления ресурсами ЛС НБ и ЛС ВБ.

Публикации по теме диссертации

1. Воронов Е. М., Репкин А. Л., Чжан Сяньцзянь. Модифицированные стабильно-эффективные компромиссы на основе активных игровых равновесий в задачах конфликтно-оптимального управления // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение. – 2011. – № 3 (84). – С. 51–64.
2. Субоптимальное равновесное позиционное управление многообъектной системой на основе многопрограммной стабилизации / Чжан Сяньцзянь [и др.] // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение. – 2012. – № 4 (89). – С. 3–17.
3. Чжан Сяньцзянь. Метод прогноза конфликтно-оптимального взаимодействия многорубежной ПВО и системы воздушного базирования на основе модели ЗРС «Пэтриот» // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2012. – № 10. – 18 с.
4. Комплексный алгоритм многорубежного целераспределения – прогноза динамики конфликта на основе модели ЗРС «Пэтриот» / Чжан Сяньцзянь [и др.] // Интеллектуальные системы: Труды X международного симпозиума / Под ред. К. А. Пупкова. – М., 2012. – С. 347–351.
5. Повышение быстродействия задачи конфликтно-оптимального целераспределения малых групп летательных аппаратов / Чжан Сяньцзянь [и др.] // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2011. – № 8. – 9 с.
6. Прогноз динамики конфликтных решений на основе активных равновесий / Чжан Сяньцзянь [и др.] // Системный анализ, информатика, управление: Труды II Всеукраинской научно-практической конференции. – Запорожье, 2011. – С. 54–56.