

УДК 629.762.5

339.13

На правах рукописи

Голубев Сергей Иванович

Управление процессом принятия решений на этапе обlikового проектирования перспективных ЗУР в интересах повышения их конкурентоспособности

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (ракетно-космическая техника)

Научный руководитель: Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор РАН

Сыпало Кирилл Иванович

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва
2017

Оглавление

Введение.....	4
В.1. Научно-практическая основа проектных разработок новой авиационно-ракетной техники	4
В.2. Общая характеристика работы.....	7
В.3. Содержание предлагаемой диссертационной работы	10
В.4. Краткий обзор литературных источников	16
Глава 1. Развиваемая концепция обlikового проектирования БЛА	20
1.1 Место обlikового проектирования в системном процессе разработки БЛА	20
1.2 Качество изделия ОПК в рыночных условиях.....	23
1.2.1 Понятие качества и конкурентоспособности изделия	23
1.2.2 Рыночные аспекты конкурентоспособности авиационно-ракетной техники (АРТ).....	27
1.3 Полезность – модель оценки конкурентоспособности ЗУР	31
1.3.1. Базисные аксиомы теории полезности	33
1.3.2. Функция ценности и ее свойства.....	35
1.3.3. Применение функции ценности для оценки конкурентоспособности	40
Глава 2. Основные положения методики формирования альтернатив облика ЗУР. Модель оптимизации альтернатив	43
2.1 Формирование альтернативных вариантов	43
2.2 Анализ динамических свойств ракеты и расчёт промаха. Уточнение параметров облика оптимизацией параметров системы стабилизации.	50
2.2.1 Оценка вероятности поражения воздушной цели	60
2.3 Критерии оценки вариантов обlikов ЗУР. Предпочтения ЛПР	61
Глава 3. Задача принятия проектного решения: методика и пример расчёта	63
3.1 Область применения МФЦ	63
3.1.1 Аксиоматические методы.....	64

3.1.2 Прямые методы. Сравнение Метода Анализа Иерархий и Метода Функции Ценности.....	65
3.1.3 Методы компенсации.	68
3.1.4 Методы порогов сравнимости.	69
3.2. Альтернативные варианты обликов ЗУР.....	70
3.3 Принятие решения	76
3.4 Определение весовых (масштабирующих) коэффициентов критериев в функции ценности.....	83
3.5 Сравнение результатов метода функций ценности с отдельными методами принятия решения.	87
Основные выводы и результаты	89
Литература	91

Введение

В.1. Научно-практическая основа проектных разработок новой авиационно-ракетной техники

Еще совсем недавно проектирование новой авиационно-ракетной техники (АРТ) заключалось, как правило, в выборе аэродинамической схемы и параметров основных бортовых систем в соответствии с требованиями технического задания (ТЗ). При этом во многих случаях требования ТЗ определялись достижениями опережающего противника [1]. В современных условиях, обусловленных рыночной экономикой, создание новой техники происходит в постоянной конкурентной борьбе за лидерство в отрасли в условиях перехода к новому типу технико-экономической политики. Сущность этой политики – динамичное генерирование инноваций, ускоренное развитие нематериальной сферы, опора на человеческий потенциал, науку, новейшие знания и организационно-управленческие решения.

Настоящий период развития техники и экономики все более четко выявляет глобальные факторы потребностей и возможностей современной

политэкономической системы. К таким факторам следует отнести, в первую очередь, постоянно расширяющуюся конкуренцию товаров, производителей и даже стран, а также формирование новых возможностей технологических систем, иными словами, формирование *нового технологического уклада* (НТУ).

В этих условиях *генеральная задача проектных разработок новой техники состоит в обеспечении максимально возможной конкурентоспособности создаваемой продукции, что, в свою очередь, приводит к необходимости учета потенциальных возможностей нового технологического уклада при формировании требований к новой технике.*

Категория конкурентоспособности является одной из ключевых в рыночной экономике. На сегодня не существует общепризнанного определения конкурентоспособности и, в частности, конкурентоспособности товара. В настоящей работе мы понимаем под конкурентоспособностью рассматриваемых изделий степень их востребованности потребителем на рассматриваемом рынке сбыта при условии выгоды для производителя совершения на этом рынке акта продажи. Большинство исследователей сходятся во мнении, что для товара это понятие должно включать в себя, как минимум, три группы показателей [88]: полезность изделия, затраты покупателя и способы продвижения изделия на рынок (условия поставки, условия гарантии, сервисное обслуживание, маркетинговая поддержка и т.п.). Далее мы вернемся к определению этого понятия применительно к обсуждаемой предметной области.

Как уже отмечалось выше, современная рыночная экономика характеризуется так называемым новым технологическим укладом. Понятие технологического уклада было введено Д. С. Львовым и С. Ю. Глазьевым [159] на основании теории, разработанной русским экономистом Николаем Дмитриевичем Кондратьевым [158], и означает совокупность технологий, характерных для определенного уровня развития производства и образа жизни [125].

В настоящее время человечество находится в конце пятого технологического уклада и одновременно происходит формирование технологий шестого уклада. Как полагают специалисты, шестой технологический уклад может привести к радикальному изменению военной политики вследствие того, что отдельные государства достигнут такого технологического превосходства, которое обеспечит им отсутствие каких бы то ни было боевых потерь [124].

Как показывают исследования института мировой экономики и международных отношений (ИМЭМО) РАН, контуры нового технологического уклада формируются с учетом следующих основных факторов[2]:

- глобализация и становление нового мирового экономического порядка (появление на мировой арене новых силовых центров; возрастание роли и влияния внешних игроков во внутренние дела стран, имеющих важное геополитическое или ресурсное значение; рост национализма; виртуализация частной и общественной жизни [156]);

- инновационная динамика, включающая не только технические, но и социальные, политические и институциональные факторы;

- подходы к экономически устойчивому развитию (развитие, «обеспечивающее сбалансированное решение социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей» [157]);

- модернизация инвестиционного процесса с целью совершенствования технологических процессов (повышение доли машин и оборудования в общем объеме производственных капитальных вложений).

Здесь необходимо подчеркнуть, что главные проблемы государственной научной и инновационной политики РФ – непоследовательность в реализации научных и инновационных приоритетов, снижение объемов госфинансирования науки до уровня малых стран

Западной Европы. Инновационная деятельность, основанная на реализации крупных научно-технических проектов, не стала приоритетом частного сектора авиаракетной отрасли России. В результате эта отрасль, которая традиционно считалась передовой в мире, находится на грани утраты уникального научно-технического и инновационного потенциала [2].

По нашему мнению, научная и инновационная деятельность ВУЗов РФ в области АРТ требует расширения. Даже при весьма умеренной государственной поддержке имеются все основания для наращивания *постепенной позитивной динамики в науке*, особенно при создании «центров превосходства» в области нового технологического уклада. Определенным вкладом в этой деятельности являются диссертационные исследования вузов. В связи со сказанным, настоящая диссертация может являться частью общего процесса решения практических задач, обеспечивающих переход российской экономики на рельсы шестого технологического уклада.

В.2. Общая характеристика работы

Область исследований. Диссертация посвящена задаче управления процессом принятия решений на этапе обlikового проектирования зенитных управляемых ракет (ЗУР) в интересах повышения их конкурентоспособности как современного высокоточного оружия. В рамках данной работы под «управлением процессом принятия решений» понимается создание на основе системного анализа соответствующей методики принятия проектных решений на этапе обlikового проектирования беспилотных летательных аппаратов военного назначения.

В последние годы происходят принципиальные изменения в практике проектирования и производства ЗУР. Постепенно происходит понимание того, что жизнеспособность новых проектов всецело определяется их конкурентоспособностью, которая интерпретируется как общая

характеристика качества этой продукции. В настоящей работе мы исходим из того, что качество, как более общая характеристика изделия, включает конкурентоспособность.

ЗУР, представляющие собой, как известно, беспилотные летательные аппараты (БЛА) военного назначения, являются динамично развивающимися техническими системами. Как показывает анализ отечественных и зарубежных источников, основным направлением повышения конкурентоспособности этого класса ЛА в качестве современного оружия является их модернизация и создание соответствующих модификаций. Этот тренд определяет **актуальность разработки** упомянутой выше методики принятия проектных решений.

Таким образом, цель настоящей работы состоит в обеспечении конкурентоспособности разрабатываемых ЗУР путем формирования методики выбора конкурентоспособного варианта облика ЗУР средней дальности как высокоточного оружия в рамках рациональных альтернативных проектных вариантов.

В рамках данной работы под понятием «облик ЗУР» понимаются концептуальные характеристики проектируемого объекта, которые однозначно определяют его форму, размер и взлетную массу. К их числу относят аэродинамическую схему, расположение крыльев и оперения, удельную нагрузку на крыло, коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления, тип и параметры двигательной установки, включая удельный расход и относительную массу топлива [122]. Помимо этого в облик включают состав и параметры системы управления ЛА.

Развитие экономики в настоящее время идет по пути совершенствования организационно-экономической системы, что обеспечивается большинством различных систем менеджмента качества (СМК). Инновационная составляющая еще не является определяющим фактором конкурентного обеспечения.

Курс правительства РФ на новую (инновационную) экономику в своей основе ориентирован на рыночное развитие машиностроительных отраслей. В этих условиях разработка и внедрение в практику системы обеспечения конкурентоспособности для создаваемой авиационно-ракетной техники представляется особенно актуальной научно-технической проблемой. Наши исследования лежат в русле решения именно этой проблемы.

Научная новизна диссертационных исследований.

1. Предложена методика выбора оптимального варианта облика ЗУР среди альтернативных, учитывающая факт рыночных отношений производителя и потребителя данных изделий, путем анализа конкурентоспособности изделия по аспекту полезности.
2. Предложена методика оценки полезности ЗУР как высокоточного оружия на основе функции ценности, сформированной на основе теории полезности.
3. Предложен новый подход к оптимизации альтернативных вариантов облика ЗУР средней дальности по критерию его эффективности как высокоточного оружия с использованием метода сопряженных уравнений П. Зархана и ковариационного анализа.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования предложенных моделей и алгоритмов для

- расширения спектра и повышения качества решаемых целевых задач за счет направленной адаптации облика изделия при его модернизации;
- оценки эффективности альтернативных вариантов изделия как оружия при различном составе полезной нагрузки;
- оценки конкурентоспособности изделия по аспекту полезности путем сравнения его модификаций.

Основные научные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся научно-методические основы формирования облика ЗУР на основе анализа его конкурентоспособности, включающие в себя следующее:

1. Модель конкурентоспособности ЗУР как высокоточного оружия.

2. Методика управления процессом обlikового проектирования ЗУР в интересах достижения требуемого уровня конкурентоспособности на основе использования функции ценности ЗУР.

3. Технология обработки данных обlikового проектирования в интересах анализа эффективности ЗУР как высокоточного оружия с использованием метода сопряженных дифференциальных уравнений и ковариационного анализа.

4. Результаты анализа полезности ЗУР средней дальности с использованием многофакторной функции ценности.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов и списка использованных источников, включающего 173 наименований. Работа изложена на 106 страницах.

В.3. Содержание предлагаемой диссертационной работы

Содержание работы изложено во введении, трех главах и заключении.

Развернутое введение посвящено изложению научно-практических основ проектных разработок новой ракетной техники. Генеральная задача подобных разработок на данном этапе развития военной техники состоит в увеличении конкурентоспособности создаваемой продукции, обеспечивающей необходимое соответствие продукции конкурентным требованиям к новой технике на основе потенциальных возможностей нового технологического уклада.

Изложение введения завершается анализом отечественной и зарубежной литературы в области проектирования ЛА, исследования конкурентоспособности и теории полезности.

Первая глава содержит определение роли и места обlikового проектирования в процессе создания БЛА. В начале главы обосновывается необходимость расширения обlikовых исследований в интересах

повышения конкурентоспособности и предлагается введение этого этапа в качестве нормативного в общий системный процесс разработки БЛА. Как известно, задачи обlikового этапа посвящены, прежде всего, системным вопросам, в центре которых разрешение противоречия между желаемым и достижимым. При этом желаемое определяется потребностями в создании новой системы оружия, которые формируются при проектировании системы более высокого уровня. С другой стороны, достижимое определяется новым технологическим укладом.

Наличие на рынке двух участников – производителя/продавца и покупателя/потребителя требует расширения набора характеристик для оценки товара и формирования его цены. В классической экономической теории средний уровень цен определяется в производстве и формируется издержками. В настоящее время появился другой подход – формирование цены на основе *полезности изделия*. В теории полезности за основу взято отношение человека к товару в виде субъективной оценки полезности благ, получаемых от товара [76, 77]. Следовательно, концепция конкурентоспособности создаваемой техники формируется, прежде всего, производителем этой техники в виде так называемой проектной конкурентоспособности, которая определяется тремя группами параметров:

- *потребительская полезность*, определяемая уровнем выполнения целевой задачи;
- *экономические параметры* (ценовые факторы);
- *организационно-экономические параметры* (маркетинговая сторона функционирования предприятия-изготовителя).

Настоящая работа ориентирована на оптимизацию потребительской полезности.

Далее в первой главе представлены основы теории полезности применительно к аналитическому сравнению альтернатив, рассматриваемому в качестве ключевого этапа системного анализа. При выполнении пяти базовых аксиом о суждении предпочтения лица, принимающего решение

(ЛПР), на множестве альтернатив существует некая функция, которая ставит в соответствие каждой альтернативе, характеризуемой набором критериев, число (индикатор полезности). Это число позволяет ранжировать альтернативы по их целесообразности для ЛПР, давая основу для принятия решения.

Два типа функций определяются в теории полезности – функции полезности и ценности. Функция полезности показывает предпочтительность альтернативы для ЛПР и учитывает его отношение к риску; тогда как функция ценности показывает только предпочтение ЛПР. В настоящей работе используются функции ценности.

Приводится эвристическое доказательство теоремы о представлении функции ценности в аддитивном виде. Данный вид является наиболее простым и удобным для построения функции, при помощи которой производится оценка альтернативных вариантов и выбор наилучшего из них.

Вторая глава содержит общую характеристику процесса обlikового проектирования ЗУР. Центральной задачей здесь является формирование множества альтернативных вариантов. При этом обlikовое проектирование интерпретируется как особый этап проектных разработок, отражающий перспективные целевые установки. Центр тяжести процесса обlikового проектирования в значительной мере переносится на неформальные процедуры, обеспечивающие расширение проектной области во временном и техническом измерениях, а также качественное согласование обlikовых характеристик ЗУР с параметрами ракетного комплекса и системы ПВО в целом.

В данной работе задача обlikового проектирования представлена в виде четырех составляющих, последовательно выполняемых стадий проектирования:

1. Предварительные изыскания, включая постановку целевых задач;
2. Формирование облика ЗУР в виде альтернативных конкурентных вариантов с использованием, в том числе, неформальных процедур;

3. Формирование аналитической модели функционирования ЗУР на участке самонаведения, определяющем, в конечном счете, эффективность изделия как оружия.

4. Принятие решений относительно оптимального в смысле полезности облика ЗУР.

Предварительные изыскания имеют целью оценку, с одной стороны, достигнутого уровня совершенства ЗУР как оружия, а с другой — оценку достижимых уровней и свойств подобной техники на планируемый период времени. На основе прогностического анализа целевых задач будущего выявляются необходимые конкурентные преимущества ЗУР, подлежащие реализации в новом проекте. Несмотря на общий характер вопросов, рассматриваемых на этом этапе, задачи, для решения которых предназначена проектируемая ЗУР, подлежат однозначному формулированию.

Формирование облика на основе целевых задач, предварительных изысканий и сторонней информации обеспечивает выбор аэродинамической схемы ЗУР, способа управления и состава оборудования, типа и характеристик двигательной установки, компоновочных решений, а также уточнение массогабаритных проектных параметров на основе баллистического расчёта.

На этом этапе в центре внимания система управления, под которой в рамках данной работы будем понимать совокупность способов и устройств, действия которых обеспечивают полет по траектории наведения и требуемые характеристики промаха. На данном этапе развития техники примерно 50% стоимости ракеты приходится на стоимость системы управления.

В результате формируется множество вариантов обликов ЗУР, обеспечивающих решение сформулированных целевых задач.

Формирование аналитической модели функционирования ЗУР на участке самонаведения с использованием ряда допущений.

Приближенный характер модели обусловлен, главным образом, недостаточностью данных на этом этапе проектирования, требуемых для

реализации строгой математической модели функционирования ЗУР. В качестве исходной рабочей гипотезы принимается кинематическая траектория, соответствующая невозмущенному движению. Рассматривается инерциальная система координат, связанная с плоской Землей. В этой системе координат на встречных курсах в плоскости наведения движутся ракета и цель как материальные точки.

Для анализа динамики ЗУР и расчета промаха наиболее часто используется операторное представление движения в отклонениях относительно кинематической траектории. В этом случае уравнения движения представляются системой линейных (или квази-линейных) дифференциальных уравнений с коэффициентами, зависящими от времени.

В главе предлагается методика практического анализа линеаризованной системы самонаведения ракеты по методу пропорциональной навигации, существо которой состоит в следующем.

Поскольку система ракета – цель находится под воздействием случайных возмущений, моделирующих маневр цели, шумы головки самонаведения и т.д., для учета влияния неточности измерения скорости изменения угла визирования головкой самонаведения в систему добавляется формирующий фильтр, имитирующий случайное воздействие внешней среды. Ограничение на располагаемую перегрузку учитывается путем статистической линеаризации. Далее методом ковариационного анализа рассчитывается дисперсия терминального промаха [135, 140].

В рамках выбранного варианта ЗУР определяется дисперсия терминального промаха при разных значениях коэффициентов обратной связи системы стабилизации ракеты по угловой скорости и по линейному ускорению, определяется вариант, обеспечивающий минимум дисперсии промаха, а для принятия решения сравниваются оптимальные по промаху альтернативы облика. В рамках данной модели промах определяет вероятность поражения и эффективность ЗУР как оружия.

Таким образом, исходные данные для оптимизации включают:

- целевые задачи;
- варианты обликов ЗУР;
- критерии оценки выполнения целевых задач различными ЗУР лицом, принимающим решение;
- параметры движения в точке начала самонаведения для каждого из альтернативных вариантов обликов ЗУР;
- предпочтения лица, принимающего решение.

Поражение воздушной цели рассматривается как событие, состоящее из двух случайных событий, происходящих последовательно во времени. Первое случайное событие заключается в том, что подрыв БЧ ракеты происходит именно при промахе R . Второе случайное событие заключается в том, что подрыв БЧ при промахе R приведет к поражению цели. Вероятность этого события определяется принятым координатным законом поражения цели.

В *третьей главе* сформулирована практическая методика выбора конкурентоспособного варианта облика ЗУР и дан пример расчета.

Основой методики являются положения обликового проектирования, изложенные в 1-й главе, в соответствии с которыми постановка проектной задачи определяется целью обликового проектирования – *разработка конкурентоспособного проекта ЗУР, отражающего новый технологический уклад в сфере военной техники.*

В соответствии с подходом, развитым в первой главе работы, практическая методика также включает в себя три составные части:

- формирование набора альтернатив для решения целевых задач;
- аналитическую модель функционирования ЗУР на участке самонаведения;
- выбор конкурентоспособного варианта ракеты на основе функции ценности.

Изложены практические аспекты задачи принятия проектного решения. Рассмотрена постановка задачи с применением математического аппарата

многопараметрической функции ценности. Назначены три критерия, характеризующие предлагаемые альтернативы, и построена аддитивная функция ценности, позволяющая оценить перспективность предложенных конкурентных преимуществ, реализованных в альтернативных вариантах обликов ЗУР.

По предлагаемой методике принятия проектного решения среди альтернативных вариантов обликов ЗУР проведен выбор облика ЗУР средней дальности, который должен стать основой для дальнейших разработок.

Изложение задачи обликового проектирования завершается заключением, содержащим результаты, полученные диссертантом.

В.4. Краткий обзор литературных источников

Вопросам разработки методологических и практических положений проектирования новой техники, в том числе и БЛА, посвящено достаточно много отечественной и зарубежной литературы. Современный этап развития теории проектирования приходится на зарождающийся новый технологический уклад в экономике страны и всего мира.

В числе наиболее продвинутых отечественных источников следует отметить работы школы МАИ [4, 5, 6, 8, 9, 10, 48], авторы которой В. П. Мишин, А. А. Лебедев, Д. Н. Щеверов, Д. Л. Томашевич, Л. С. Чернобровкин, И. С. Голубев, Е. В. Тарасов, В. Т. Бобронников, А. Б. Гусейнов, М. Д. Пестов, В. М. Балык, В. В. Малышев, Красильщиков М. Н. и др.

Центром синтеза в работах этой школы является БЛА, функционирующий в составе большой технической системы (БТС). При этом системное описание функционирования реализуется на базе двух методологических принципов: декомпозиции БТС и широкого использовании неформального анализа.

Среди зарубежных авторов, занимающихся концептуальным проектированием тактических ракет, известны работы Е. Флимана (см. например [101]).

По теории конкурентоспособности среди публикаций настоящего периода следует особо отметить работы М. Портера [35, 41, 130, 131, 132], создавшего самую общую, по нашему мнению, и многогранную теорию этой области знания.

В настоящей работе для получения суждений о конкурентоспособности ЗУР использованы результаты теории полезности. Термин «полезность» был введен в науку швейцарским математиком Даниэлем Бернулли [126]. Полезность оставалась качественной концепцией до главной работы фон Неймана и Моргенштерна [127]. Они обобщили порядковую концепцию полезности Бернулли (которая была ограничена вопросами получения богатства), сформулировали нормативные аксиомы и создали экономико-математическую структуру – теорию полезности. С тех пор объем исследований в этой сфере увеличился взрывоподобно.

Развитие теории полезности связано с именами крупных ученых философов, экономистов, математиков конца XIX-го и начала XX-го столетий. Среди них У. Джевонс, А. Маршалл, К. Менгер, Л. Вальрас, В. Парето, Дж. Хикс и др.

Фундаментальный труд Р. Кани и Х. Райфа [77] дал толчок многим прикладным исследованиям теории полезности, в том числе и значительным работам Д. Даера и Р. Сарина [76], которые расширили применение теории полезности для решения задач принятия решений.

Большой вклад в развитие методов принятия решений внес академик О.И. Ларичев [80].

Перечисленные и многие другие работы являются фундаментом проектных исследований новой техники и в настоящее время.

В последние годы заметно расширяется количество работ в области знаний, теории проектирования, принятия решения и конкурентоспособности

новой техники. Знания рассматриваются как составная часть человеческого капитала, под которым понимается совокупность интеллектуальных способностей, профессионально значимых компетенций, мотиваций и морально-этических принципов, получаемых в процессе образования и практической деятельности человека [19, 20]. В государственной программе Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2015 годы» [21] одним из средств достижения цели программы обозначена задача развития человеческого капитала в отрасли [22, 23] с одновременным повышением конкурентоспособности продукции.

Авиационно-ракетно-космическая (АРК) техника по уровню содержания результатов интеллектуального труда и научно-технического прогресса опережает другие секторы экономики [24], что позволяет, как показано в работах [25, 26, 27], получать свойства техники, более полно удовлетворяющие потребностям человека.

Ключевой проблемой рыночной экономики является категория конкурентоспособности, рассматриваемая со стороны изделия, фирмы, отрасли, региона и страны.

В последние годы расширяется влияние российских работ в области конкурентоспособности [25, 36, 37, 44, 88]. Среди российских авторов выделяются Г. Л. Азоев, С. Б. Левочкин, Х. А. Фасхиев, Р. А. Фатхутдинов. Однако ЛА российского производства в некоторых сегментах рынка по уровню конкурентоспособности занимают далеко не лидирующие позиции на мировом рынке [14, 15]. По некоторым источникам [16], снизились показатели надежности продукции ОПК, что подтверждается рекламациями от зарубежных покупателей оборудования ПВО, ВВС и ВМФ.

При разработке сложных технических систем всегда имеет место конфликтные требования к параметрам изделий. В связи с этим особую актуальность в настоящее время приобретает теория принятия решений. Оценка полезности того или иного решения и выбор варианта в современных условиях зависит от возможности лиц, принимающих решение, рассмотреть

и оценить большое количество альтернатив со значительным числом параметров и критериев эффективности.

Согласно исследованиям [81, 82, 83] до 50% изделий, на которые компании-изготовители расходуют значительные средства, создавая их, впоследствии оказываются невостребованными на рынке. Поэтому с каждым годом растет объем исследований в области теории полезности и принятия решений. Заслуживают внимания работы [73, 74, 75, 76, 112, 77, 89].

В работах [13, 16] подчеркивается, что товары и услуги создают полезность для покупателей своими характеристиками, такими как: надежность, производительность, простота обслуживания, долговечность, экологическая безопасность, внешняя эстетика, престиж владения и т. д. Все эти качества, наряду с характеристиками целевой эффективности, отражающие требования потребителя, очевидно должны учитываться в задачах принятия решения при создании новых изделий.

Глава 1. Развиваемая концепция обlikового проектирования БЛА

1.1 Место обlikового проектирования в системном процессе разработки БЛА

Процесс проектирования нового изделия обычно разделяют на внешнее и внутреннее проектирование [114, 122, 150]. Эти два неразрывно связанных процесса реализуются заказчиком и разработчиком новой техники, соответственно. Целью внешнего проектирования является обоснование концепций, обlikов и требований к перспективным и модернизируемым изделиям и системам. Цель внутреннего проектирования – получение информации, определяющей возможность создания в имеющихся условиях и при заданных ограничениях. Связующим звеном обоих процессов является задача формирования облика изделия – рис 1.1.

Обlikовое проектирование – это начальная стадия проектных разработок ЗУР, ориентированная, прежде всего, на разработку составляющих ЗУР, обеспечивающих перспективность и конкурентоспособность проекта в будущем, когда изделие станет готовым продуктом. При этом центр тяжести в значительной мере переносится на неформальные процедуры, которые конструкторским бюро обычно не рекламируются. Их цель — расширить проектную область во временном и техническом измерениях, качественно концептуально согласовать проектные характеристики ЛА с ракетным комплексом и системой ПВО, исключить необоснованные целевые установки и риск. Очевидно, что все это придает индивидуальность обlikовым задачам.

На этапе обlikового проектирования закладывается целый ряд основополагающих решений, которые в дальнейшем будут определять технические и экономические характеристики проекта. Поэтому очень важно

с одной стороны сформировать, а с другой стороны оценить большое количество альтернатив, которые охватывают широкое пространство возможных инженерных решений. Наличие альтернативных вариантов обеспечивает постепенное наращивание позитивной динамики в науке, определяющей область новых технологических подходов при создании вооружения нового поколения.

Параллельно с обликowym проектированием ведется разработка технического задания (ТЗ) [114], что способствует внедрению проверенных нововведений. При этом *главным исходным положением, определяющим общую постановку проектной задачи и одновременно представляющим цель обликowego проектирования, является разработка конкурентоспособного проекта БЛА, отражающего новый технологический уклад в сфере военной техники.* Создание авиационно-ракетной техники происходит в тесном сотрудничестве между заказчиком и производителем системы вооружения. Заказчик – Министерство Обороны РФ на основе исследований систем высокого уровня, таких как межвидовых и видовых систем вооружения, проводит комплекс НИР по обоснованию и *формированию* облика перспективных образцов техники [119, 167]. При этом исследуются общие черты системы еще до ее реализации. В результате этой работы формируется техническое задание для разработчика системы и набор перспективных альтернативных вариантов изделия в рамках выбранной концепции(ий) [122].

Как показано на рис. 1.1, обликowego проектирование – это составная часть общего процесса проектирования ЛА и, как следствие, его нельзя рассматривать изолированно. Увязка с задачами более высокого уровня достигается с помощью системной организации процессов проектирования, обеспечиваемой за счет итерационного характера общего процесса, в котором обликowego стадия является первой итерацией. Такая организация проектирования не только расширяет поле возможных решений, но и способствует повышению качества получаемых результатов.

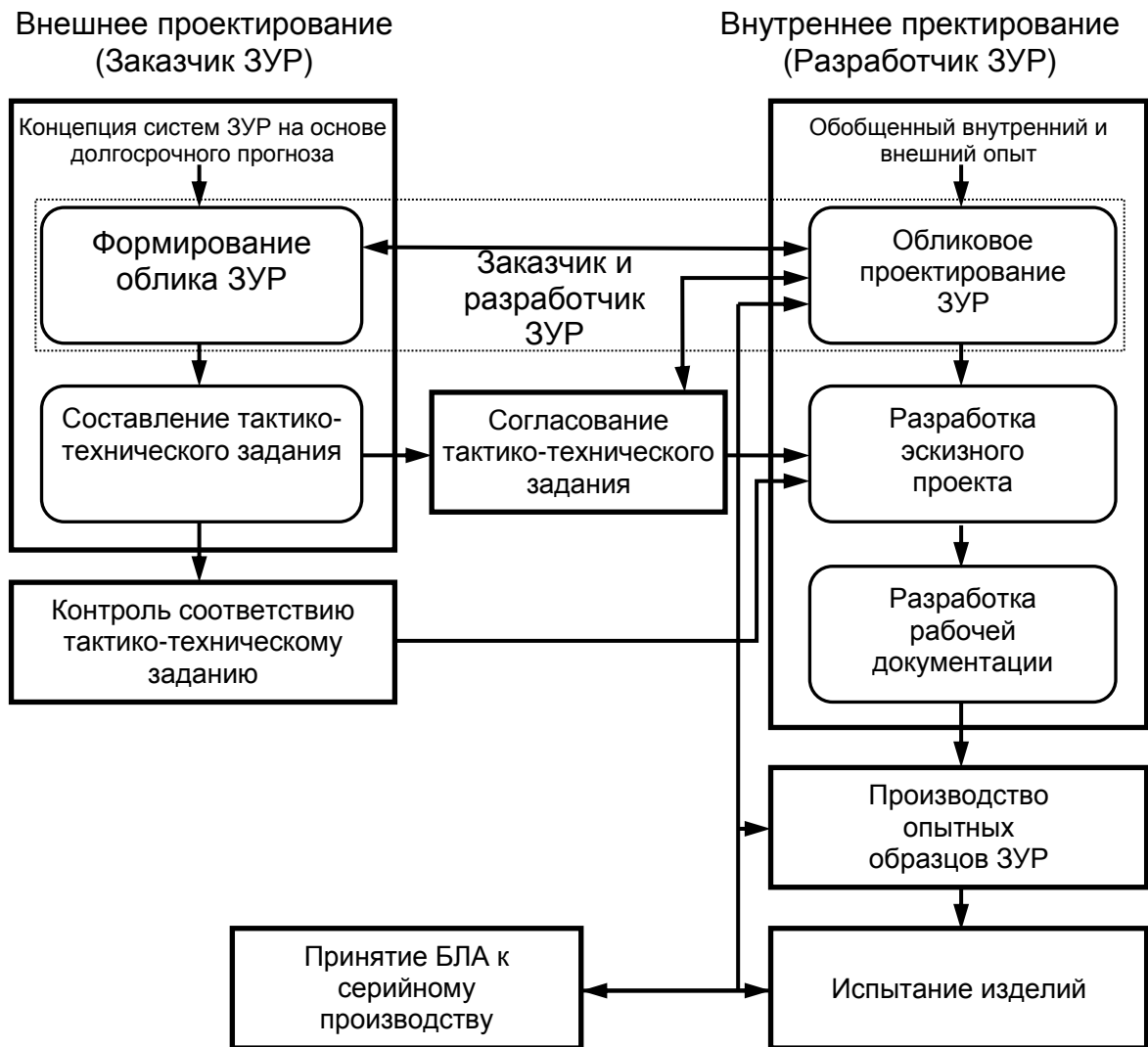


Рис. 1.1. Процесс создания новых ЗУР и его участники.

Обливковое проектирование направлено на разрешение противоречия между желаемым и достижимым. Желаемое определяется потребностями в создании новой системы, которые формируются при решении задач системы более высокого уровня и в рамках сформированной концепции, родившейся в рамках концептуального проектирования. Достижимое – в свою очередь – определяется уровнем развития науки и техники, технологии производства, а также условиями применения, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта [114, 121].

На этом этапе проектирования большое количество параметров будущей ракеты носит качественный характер, переводя задачу обливкового

проектирования в категорию для ЛПП в категорию слабоструктурированных [168].

Далее после согласования технического задания между заказчиком и производителем начинается проектный этап. Проектирование ведется производителем под контролем заказчика и включает разработку технического предложения, эскизного проекта, рабочей документации и последующего производства опытных образцов, испытания и принятия к серийному производству [121].

В иностранной литературе концептуальное и обливковое проектирование объединено в концептуальное проектирование [110].

1.2 Качество изделия ОПК в рыночных условиях

1.2.1 Понятие качества и конкурентоспособности изделия

Как уже отмечалось, по результатам обливкового проектирования можно считать определенными и зафиксированными подавляющее большинство расходов, производимых на дальнейших этапах жизненного цикла изделия [123]. Таким образом, если перед выходом на рынок или перед передачей образца заказчику нового изделия окажется, что цели проектирования не достигнуты, корректировка потребует огромных затрат. В этой связи говорят о необходимости обеспечения качества и конкурентоспособности нового продукта на возможно более ранних этапах его создания. В рамках развиваемой концепции эти понятия требуют своего осмысления.

Рассмотрим сначала понятие качества.

Современная версия стандарта ГОСТ Р ИСО 9000-2011 определяет качество продукции или услуги как «степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям». Там же – под требованием понимается «потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным», а характеристика это «отличительное свойство», которое может быть присущее или присвоенное,

качественное или количественное, физическое, органолептическое, этическое, временное, эргономическое, функциональное. Разработчики стандартов стремились обобщить рекомендации различных школ и концепций управления качеством для объективной оценки способности производителя поставлять изделия необходимого качества [154].

Поскольку качество оценивается с двух сторон – потребителем и производителем – естественно, что степень соответствия, упомянутая в определении качества изделия, может отличаться. Результат работы предприятия-изготовителя должен соответствовать ожиданиям со стороны потребителя. В стандартах ИСО для управления качеством использована модель Эттингера – Ситтига, которая в дальнейшем получила название «петля качества» [154] – рис 1.2.

Из этой модели ясно видно, что предприятие, представляющее на рынок изделия, создававшиеся исходя из понимания целей и задач, определяемых рынком, которые были некоторое время назад, и в момент, когда новый товар реально попадает на рынок, может столкнуться с изменением требований заказчиков-потребителей и с товарами-заменителями. Для оценки рыночной успешности товара используется понятие конкурентоспособности.

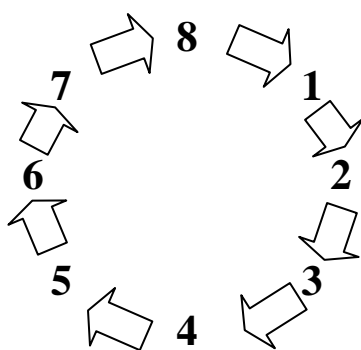


Рис. 1.2. Модель Эттингера — Ситтига: 1 – цели и задачи системы; 2 – техническое задание; 3 – проектирование; 4 – производство продукции; 5 – сбыт; 6 – гарантийное обслуживание; 7 – реализация продукции; 8 – рынок.

Категория конкурентоспособности является одной из ключевых в рыночной экономике и ее обсуждение среди ученых теоретиков и практиков ведется в последние десятилетия вокруг, по крайней мере, четырех тем: 1) определение конкурентоспособности; 2) широты охвата экономических агентов (конкурентоспособность изделия, фирмы, индустрии, региона, страны); 3) факторы и измерители степени конкурентоспособности и 4) эффективность конкурентной политики и стратегии [129].

Первым исследователем, который объединил конкурентоспособность изделия, фирмы, индустрии и страны был Майкл Портер в работах [130, 41, 131, 132].

По нашему мнению, модель Портера на сегодня является самой общей и многогранной. Несмотря на критику со стороны видных деятелей науки таких, как Пол Кругман - лауреат Нобелевской премии 2008 в области экономики [115], и других авторов [40], Майкл Портер остается наиболее цитируемым и признанным автором, исследующим категорию конкурентоспособности в мире.

На сегодня не существует общепризнанного определения конкурентоспособности в общем и конкурентоспособности товара в частности, но поскольку конкурентоспособность изделия является областью наших интересов, приведем определение, данное в Современной экономической энциклопедии [116].

«Конкурентоспособность – совокупность потребительских свойств данного товара, характеризующая их отличие от товара-конкурента по степени соответствия конкретным общественным потребностям, с учетом затрат на их удовлетворение, цен. Важнейшими факторами конкурентоспособности являются: технический уровень и качество товара, ориентированность его на определенного потребителя. Обязательными элементами конкурентоспособности являются: 1) группа экономических показателей (цена, затраты на эксплуатацию, утилизацию); 2) группа

неценовых договоров (условия платежа, условия сервиса, уровень снабженческо-сбытовой сети, реклама, имидж и т.д.)»).

Следуя модели, предложенной Портером, конкурентоспособность предприятия определяется его способностью извлекать прибыль в долгосрочной перспективе, создавая и производя конкурентоспособный товар. Этой же точки зрения придерживается Р. А. Фатхутдинов [117].

Сравнивая определение качества как «степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям» и определение конкурентоспособности как отличие от другого предложения «по степени соответствия конкретным общественным потребностям», среди всех характеристик объекта выберем только те, которые являются существенными и важными для удовлетворения потребности потребителя в процессе использования объекта – мы получаем весьма близкие определения. С другой стороны способность товара удовлетворять потребности, решая целевые задачи, это есть его полезность. Таким образом, ограничив набор характеристик изделия только теми, которые участвуют в удовлетворении потребностей, из-за которых приобретался товар, мы переходим от качества к полезности. Добавляя к рассмотрению цену и неценовые характеристики изделия (условия поставки, условия гарантии, сервисное обслуживание, маркетинговая поддержка и т.п.), мы приходим к конкурентоспособности в понимании большинства исследователей этого понятия [88] как совокупности трёх групп показателей: полезность изделия, затраты покупателя и способы продвижения изделия на рынок – рис 1.3.

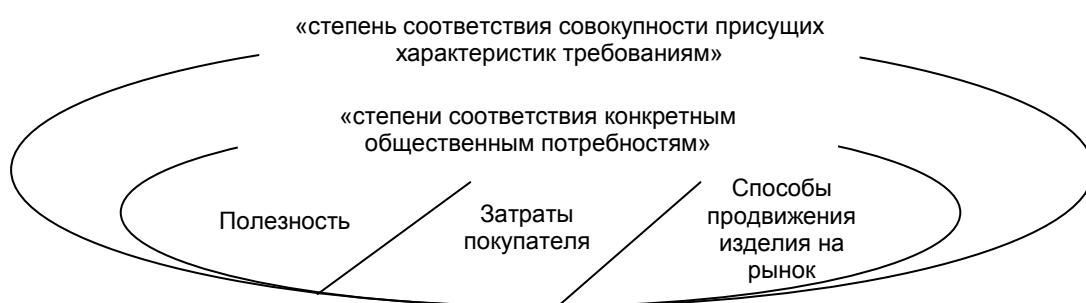


Рис 1.3. Взаимное соответствие понятий «качество», «конкурентоспособность» и «полезность».

1.2.2 Рыночные аспекты конкурентоспособности авиационно-ракетной техники (АРТ)

Конкурентоспособность АРТ формируется в рамках экономической системы, которую определяют как "совокупность всех экономических процессов, совершающихся в обществе на основе сложившихся в нём отношений собственности и хозяйственного механизма" [33]. Экономическая система представляет собой большую многозвенную систему, каждый элемент которой находится во взаимосвязи с другими звеньями. В любом обществе главными целями экономической системы являются: экономический рост, повышение эффективности производства, социально-экономическая стабильность, качество жизни населения. Ради достижения этих целей каждая страна создает и обеспечивает условия для организации и функционирования экономики.

Настоящее время – время новых производственных и управленческих технологий, интернационализации конкуренции, глобализации экономики, быстро меняющихся условий внешней среды, широкого применения системного подхода при создании новой техники. В результате предприятия функционируют в новой для себя среде и сталкиваются с такими проблемами как: усложнение информационных, финансовых и материальных потоков, сбои в бизнес-процессах у себя и на предприятиях-смежниках, усложнение цепочек поставок, сложности правового характера.

Отметим, что особенностью современных российских авиационно-ракетных систем, которые рассматриваются в настоящей работе, является их непрерывное усложнение не только в системном плане, но и отдельных объектов, особенно БЛА; причем этот процесс идет с ускорением. Статистика показывает, что сложность оборудования возрастает ориентировочно в два раза через каждые 15 лет [34]. Существенно возрастает точность наведения беспилотных ЛА, которая в настоящее время является генеральным направлением совершенствования БЛА всех видов. Чем выше точность наведения, тем выше целевая эффективность БЛА, меньше

потребная масса боевой части и, следовательно, начальная масса БЛА, проще и производительнее пусковая установка. Для высокоскоростных БЛА уменьшение массы целевого груза на 1 килограмм влечет за собой уменьшение начальной массы ракеты на 6-10 килограммов. Особенно заметный эффект имеет место для противосамолетных ракет. Высокоточные ракеты этого класса имеют массу в 4-5 раз меньше массы ракет – предшественников аналогичного назначения.

Приведенная закономерность развития БЛА одновременно является и основной объективной причиной увеличения стоимости БЛА нового поколения (как эквивалента затраченного труда) по сравнению с предыдущим поколением и роста продолжительности разработок. Уровень затрат высокоинтеллектуального труда на создание систем нового поколения, а следовательно, их стоимость достигли размеров, при которых разработка новых авиационно-ракетных систем превратилась в демонстрацию особых научно-технических и финансово-экономических возможностей отдельных государств мира.

Главной особенностью российской экономической системы является внедрение рыночных методов хозяйствования, основанных на использовании частной собственности ресурсов и рынка как основного механизма координации и принятия решения.

Движущей силой новой экономической системы является конкуренция, т. е. соперничество между участниками рыночного хозяйствования за лучшие условия производства и купли-продажи, что порождается объективными условиями – хозяйственной обособленностью каждого субъекта рынка, его зависимостью от конъюнктуры и противоборством с другими участниками рынка за наибольший доход.

Для функционирования конкуренции обычно выделяют следующие требования к рыночной среде:

- наличие определенного количества экономических агентов - фирм, поставляющих товары на рынок;

- достаточно однородная (сравнимая) выпускаемая этими фирмами продукция;

- свобода входа на рынок и выхода с него.

Рыночную среду предприятий ОПК обычно характеризуют как олигополия, так как на рынке существует нескольких крупных фирм, продукция которых чем-то уникальна, хотя сравнима и взаимозаменяема. Вступление новых фирм в отрасль, как правило, затруднено. Особенностью олигополии является взаимная зависимость фирм в принятии решений о ценах на свою продукцию.

Рынок АПК техники — это система экономических отношений, которые складываются между производителями, продавцами, покупателями, потребителями товаров и услуг, органами государственного и муниципального управления в условиях конкуренции с целью реализация их экономических интересов в процессе обмена посредством механизма рыночных цен.

Особенностью рынка АПК техники являются высокие стоимости сделок, большая длительность цикла разработки новой техники, ее производства, а также растянутые во времени сроки поставки изделий. Во время политической нестабильности, в периоды локальных конфликтов, естественно, рынок становится более динамичным и происходит большое количество операций купли-продажи АПК техники.

Развитие авиационно-ракетной отрасли – это задача стратегических интересов страны. Кроме выполнения своей основной функции – повышения обороноспособности страны – эта отрасль выступает как необходимое средство обеспечения функционирования и развития целого ряда гражданских инфраструктур [128]. Большое количество авиационно-ракетных технологий имеет двойное назначение. На их базе разрабатываются системы связи, навигации, геодезии и картографии, мониторинга территорий, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций,

пожаротушения в труднодоступных районах, экологического мониторинга и т.п.

Результатом деятельности любой компании является экономический эффект, частным проявлением которого является прибыль предприятия. Для того чтобы компания была прибыльна, она должна производить конкурентоспособную продукцию. Следовательно, концепция конкурентоспособности создаваемой техники формируется, прежде всего, производителем этой техники в виде *проектной конкурентоспособности изделия*, которая определяется тремя группами параметров [37, 88].

Потребительская полезность, куда входит весь спектр характеристик, от которых зависит выполнение целевой задачи. Иногда их называют качественными характеристиками изделия. Под этим понимается обобщенная характеристика потребительской полезности ЛА, формируемой в процессе его создания на основе взаимосвязи проектных параметров и реализуемых конкурентных преимуществ. Производитель решает задачу разработки новых модификаций существующих ЛА и / или создания ранее не существовавших систем, имеющих новые свойства, удовлетворяющие потребности заказчика в большей степени и, имея в виду замечания п. 1.2.1, изделий, имеющие более высокое качество.

Экономические параметры. Основным элементом этой группы является цена продажи, но сюда можно отнести и другие ценовые аспекты, такие как требуемые инвестиции, цена эксплуатации, цена утилизации и т.п.

Организационно-экономические параметры. Эту группу формируют особенности маркетинговой стороны функционирования предприятия-изготовителя – профессионализм продавцов, условия оплаты, условия отгрузок, качество гарантийного и постгарантийного обслуживания.

Наша работа ориентирована на выбор первой группы параметров. В гл. 3 при обсуждении примера мы ещё раз коснемся экономической составляющей конкурентоспособности.

1.3 Полезность – модель оценки конкурентоспособности ЗУР

Привлечение новых подходов для анализа рыночных характеристик связано с наличием на рынке двух сторон – производителя и покупателя, чьи позиции могут отличаться вследствие разных трактовок целевой задачи, различия математических моделей, используемых при оценках эффективности и конкурентоспособности, а также вследствие разных подходов при моделировании целевых операций.

Особо важным обстоятельством является то, что могут различаться и сами трактовки конкурентоспособности изделия. Производитель часто рассматривает конкурентоспособность изделия как синоним соответствия нового изделия заданной спецификации, отсутствие отказов из-за сбоев в процессе производства. Потребителя же не интересуют условия проектирования, производства и транспортировки изделия до поступления его на рынок. Его основа при оценке – совокупность свойств продукта, определяющих удовлетворение той потребности, ради которой приобретается этот продукт – качество изделия, как степень удовлетворения потребности, т.е. полезность изделия [155].

Категория полезности в современной экономике – это новый подход при определении стоимости товара. В классической экономической теории средний уровень цен определяется в производстве и формируется издержками. В теории полезности в качестве исходного положения при определении стоимости принимается отношение человека к товару в виде субъективной оценки полезности различных благ.

Термин «полезность» был введен в науку швейцарским математиком Даниэлем Бернулли [126]. Ученый заметил, что субъективная ценность, то есть полезность денег, уменьшается с увеличением общей суммы денежных средств. Для отражения этого явления он предложил логарифмическую функцию. Тем не менее, полезность оставалась качественной концепцией до главной работы фон Неймана и Моргенштерна [127]. Они обобщили порядковую концепцию полезности Бернулли (которая была ограничена

вопросами получения богатства), сформулировали нормативные аксиомы и создали экономико-математическую структуру - теорию полезности. С тех пор объем исследований в этой сфере увеличился взрывоподобно.

Кини и Райффа [77] расширили применение теории полезности для проблемы принятия решений, в которой каждая альтернатива может быть описана с помощью списка критериев. Авторы предложили построение математической функции, способной агрегировать информацию из нескольких критериев так, что каждая альтернатива может быть связана со значением некоторой ценности. Это позволяет расположить альтернативы по предпочтению. Формализация противоречивой информации об альтернативных вариантах в интересах их оценки может проводиться на основе теории полезности, используя функцию названной «функцией полезности», когда ЛПР для принятия решения использует представления, включающие не только суждения о предпочтениях в виде значимости (значения критерия, например), но свое отношение к неопределенности в рамках задачи более высокого уровня, в интересах которой были сформулированы целевые задачи. В настоящей работе для поиска наилучшей альтернативы используются результаты, полученные в рамках теории полезности для детерминированного случая с использованием, так называемой, «функции ценности», показывающей только предпочтение и не учитывающее отношение к риску ЛПР. Под риском в теории полезности понимается отношение ЛПР к неопределенности, выраженное как разница между математическим ожиданием полезности вероятностных исходов альтернатив и значением полезности для ЛПР математического ожидания тех же исходов. Исходами альтернатив называют значения критериев, характеризующих альтернативы с точки зрения решения поставленных целевых задач. Поскольку мы рассматриваем детерминированный случай, когда исходы альтернатив детерминированы, термином полезность мы будем обозначать ценность изделия. Развитие теории функции ценности связывают с работой Даера и Сарина [76].

Как известно [76, 77], многокритериальная функция ценности может иметь различные математические формы и ее применение для принятия решения зависит от соблюдения определенных требований. Одно из этих требований является построение модели, которая позволяет аналитику сравнить альтернативы на основе набора критериев, другими словами, модели, которая допускает установление отношений предпочтения между альтернативами.

Для построения такой модели введем аксиомы, которым должны соответствовать суждения ЛПР об альтернативах для формирования функции ценности.

1.3.1. Базисные аксиомы теории полезности

В известной литературе, использованной при написании настоящей диссертации, не приводятся в явном виде базовые аксиомы, которым должны удовлетворять суждения ЛПР по поводу альтернатив при построении функции ценности в полном объеме. Обычно читателей информируют, что выполняются аксиомы, изложенные в [75]. Однако в этом источнике приводится несколько систем базовых аксиом. При этом для практического применения метода функции ценности требуется проверить состоятельность базовых аксиом, сформулированных в терминах множества рассматриваемых альтернатив, атрибутов (критериев), их характеризующих, и предпочтений ЛПР.

Приведем пять аксиом, используя которые в [76] доказывается существование кардинальной функции ценности.

1. Аксиома измеримости: ЛПР может определиться со степенью предпочтения между любой парой альтернатив из $A = \{a_i\}, i = 1..m$. Любые две альтернативы a_i и a_j сравнимы, т.е. для альтернатив a_i и a_j возможен

один из трех вариантов: альтернатива a_i предпочтительнее; альтернатива a_j предпочтительнее; альтернативы a_i и a_j одинаковы по предпочтительности.

Введем обозначение степени предпочтения перехода от альтернативы a_i к альтернативе a_j , как $a_i a_j$.

2. На множестве альтернатив существует совершенное, рефлексивное и транзитивное отношение слабого предпочтения

$$a_i a_j \succsim a_g a_k, \quad (1.1)$$

означающее, что степень предпочтения альтернативы a_i над альтернативой a_j больше или равна степени предпочтения альтернативы a_g над альтернативой a_k .

Совершенным называется предпочтение, для которого истинно следующие высказывание:

$$(\forall a_i, a_j \in \{A\})(a_i \succ a_j \vee a_j \succ a_i).$$

Если одновременно истинны два высказывания $a_i \succ a_j$ и $a_j \succ a_i$, то имеет место отношение безразличия $a_i \sim a_j$.

3. Аксиома суммирования силы предпочтения. Для любых трех альтернатив, для которых справедливы следующие предпочтения ЛПР: если альтернатива a_i предпочтительнее альтернативы a_j , а альтернатива a_j предпочтительнее a_k , то степень предпочтения альтернативы a_i по сравнению с альтернативой a_k выше чем степень предпочтения альтернативы a_i по сравнению с альтернативой a_j .

Используя ранее введенное обозначение, аксиому 3 можно записать как

$$a_i \succ a_j, a_j \succ a_k \Rightarrow a_k a_i \succ a_j a_i. \quad (1.2)$$

4. Аксиома разрешимости. Для любых альтернатив a_i, a_j, a_k из множества $A = \{a_i\}, i = 1..m$ найдется альтернатива a_h такая, что

$$a_i a_j \sim a_k a_h. \quad (1.5)$$

5. Аксиома Архимеда. Отсутствие бесконечно малых или бесконечно больших степеней предпочтения лица принимающего решение. Иными словами, если альтернатива a_i предпочтительнее альтернативы a_j , то найдутся две другие альтернативы a_g и a_k , для которых будет выполняться

$$a_g a_i \sim a_k a_j. \quad (1.6)$$

1.3.2. Функция ценности и ее свойства

При выполнении изложенных выше аксиом на множестве исследуемых альтернатив $A = \{a_i\}, i = 1..m$, выбранных для решения целевых задач $O = \{o_q\}, q = 1..h$, существует измеримая функция ценности $v(a_i)$, обладающая свойствами:

$$a_i \succ a_j \Leftrightarrow v(a_i) > v(a_j); \quad (1.7)$$

$$a_i a_k \succ a_j a_g \Leftrightarrow v(a_i) - v(a_k) > v(a_j) - v(a_g) \quad (1.8)$$

Для решения нашей задачи свойство (1.8) – свойство измеримости – представляет существенный интерес, так как после получения значений функции ценности для рассматриваемых альтернатив и, зная цену или иную финансовую составляющую, сопряженную с каждой альтернативой, можно выбрать наиболее выгодный вариант с точки зрения максимум ценности за единицу денежных вложений.

Как известно [78], результативность альтернатив по решению поставленных целевых задач o_q характеризуется n критериями $X_j, j = 1..n$, которые в литературе называются факторами и/или атрибутами.

Для решения практической задачи общее представление функция ценности как некой функцией значений критериев x_j (1.9) не представляет интереса.

$$v(a) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.9)$$

Воспользуемся результатами теории полезности по установлению условий, накладываемых на критерии $X_j, j = 1..n$, для представления (1.9) в удобном для практического использования виде (1.10).

$$v(a) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_s(v_1(x_1), v_2(x_2), \dots, v_n(x_n)), \quad (1.10)$$

где $v_i(x_i)$ функция ценности для критерия $X_j, j = 1..n$ [77]. Измеримая функция ценности одного аргумента описывает перевод значений атрибута x_j в значение ценности этого значения для ЛПР. Такое представление позволяет разбить процесс нахождения функции $v(a)$ на два этапа – задание функций $v_i(x_i)$ и последующее формирование $v(a) = f_s(v_1(x_1), v_2(x_2), \dots, v_n(x_n))$.

Задание функции ценности скалярного аргумента. Как известно, функция ценности одного аргумента может быть задана при помощи ряда методик [78]. В настоящей работе был использован методом половинного деления в силу простоты его реализации. Отметим, что эти функции являются исходными данными для задачи оценки альтернатив, и их задание представляет собой многоэтапную задачу сбора и согласования экспертной информации. Решение этой задачи находится вне рамок настоящей работы.

Суть метода половинного деления состоит в следующем. Определяются наилучшее и наихудшее значения характеристики и присваиваются им значения 100 и 0, соответственно. Далее ЛПР, исходя из собственного опыта и знаний, определяет какой величине характеристики должно быть присвоено значение функции ценности 50. Для уточнения формы кривой

получившиеся два интервала могут быть далее разделены, используя тот же подход.

Так, например, для задания функции ценности характеристики ЗУР «минимальная дальность поражения» ЛПР, основываясь на условиях и требованиях проведения операции и на требованиях, которые накладываются системой более высокого уровня по этому параметру, принимает, что минимальная дальность поражения должна быть 1.5 км; при значении этого параметра 6 км операция будет сорвана. Значению 1.5 км присваивается значение 100, а 6 км - 0. Далее определяется значение параметра, при котором, по мнению ЛПР, операция будет выполнена наполовину. Пусть это будет значение дальности поражения 2 км. Подобным образом производится деление пополам отрезков 1.5-2 км и 2-6 км для уточнения формы кривой. Далее через полученные точки проводится плавная кривая и, так как используется диапазон значений функции $[0;1]$, производится масштабирование.

Условия существования аддитивной функции ценности. Вернемся к условиям, накладываемым на критерии $X_j, j = 1..n$ для установления характера зависимости $v(a) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, позволяющего найти функцию ценности в удобном виде

$$v(a) = v(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(v_1(x_1), v_2(x_2), \dots, v_n(x_n)),$$

где $v_i(x_i)$ функция ценности для критерия $X_j, j = 1..n$. На практике удобно использовать аддитивную форму в виде

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j), \quad \sum_{j=1}^n k_j = 1, \quad (1.11)$$

где k_j - масштабирующий коэффициент функции ценности $v_j(x_j)$, нормализованной для принятия значения от 0 до 1.

Для формулирования условий представления функции в аддитивном виде, накладываемых на критерии $X_j, j = 1..n$ альтернатив, введем ряд определений.

Пусть X_R множество из $r, r \leq n$ критериев, а X_J это множество из $n - r$ критериев. Таким образом, для некой альтернативы весь набор критериев может быть записан как (x_R, x_J) .

Говорят, что критерии альтернативы независимы по разности, если для всех x_R^1, x_R^2 справедливо

$$(x_R^1, x_J') \succsim (x_R^2, x_J') \quad (1.12)$$

для некоторого x_J' , то справедливо

$$(x_R^1, x_J')(x_R^2, x_J') \sim (x_R^1, x_J)(x_R^2, x_J), \forall x_J \in X_J. \quad (1.13)$$

Если $R = i$ и i принимает поочередно значения от 1 до n , то мы будем иметь независимость по разности каждого критерия альтернативы от своего дополнения (всех остальных критериев за исключением выбранного). Т.е. степень предпочтения между (x_i^1, x_J) и (x_i^2, x_J) , где $J = \{1, 2, \dots, i - 1, i + 1, \dots, n\}$ не зависит от x_J . О. И. Ларичев в [80] определил это условие как отсутствие зависимости предпочтения между двумя альтернативами, различающимися только оценками по одному критерию, при одинаковых оценках этих альтернатив по всем остальным критериям.

Проверка условия независимости по разности критериев была проведена по следующей методике.

Рассматривая каждый критерий отдельно, ЛПР должен ответить на вопрос, отличается ли предпочтение гипотетических альтернатив, различающихся только значениями выбранного критерия при условии, что все другие критерии зафиксированы сначала на своих наилучших значениях, а потом на наихудших [80]. При сохранении оценок делался вывод, что рассматриваемый критерий независим по разности от остальных.

Теорема. Пусть на множестве критериев существует измеримая функция ценности $v(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Эта функция может быть представлена в аддитивной форме $v(x) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j)$, $\sum_{j=1}^n k_j = 1$ тогда и только тогда, когда каждый критерий независим по разности от своего дополнения.

Для случая трех критериев (X, Y, Z) независимых по разности от своего дополнения приведем нестрогое эвристическое доказательство.

Если задана аддитивная функция ценности, то свойство критериев независимости по разности от своего дополнения очевидно выполняется. Справедливость обратного утверждения мы покажем следующим образом.

Пусть x_0, y_0, z_0 наихудшие значения критериев и положим, что

$$v(x_0, y_0, z_0) = v_X(x_0) = v_Y(y_0) = v_Z(z_0) = 0. \quad (1.14)$$

Существуют некоторые максимальные значения критериев x_m, y_m, z_m , которые в принципе достижимы с точки зрения лица, принимающего решение, для характеристики альтернатив, среди которых происходит выбор.

Выберем значение x_1 более предпочтительное, чем x_0 , но менее чем x_m , и положим $v_X(x_1) = 1$. Согласно аксиоме разрешимости существуют y_1, z_1 такие, что

$$(x_1, y_0, z_0) \sim (x_0, y_1, z_0) \sim (x_0, y_0, z_1). \quad (1.15)$$

Поскольку критерии независимы по разности от дополнения, из $(x_1, y_0, z_0) \sim (x_0, y_1, z_0)$ следует, что $(x_1, y_0, z_1) \sim (x_0, y_1, z_1)$, так как (x_1, y_0) и (x_0, y_1) эквивалентны по предпочтению при z_0 , следовательно, они будут эквивалентны по предпочтению и при z_1 .

Подобным образом получаем

$$(x_1, y_0, z_1) \sim (x_0, y_1, z_1) \sim (x_1, y_1, z_0) \quad (1.16)$$

Выберем x_2, y_2, z_2 так, чтобы было справедливо

$$(x_2, y_0, z_0) \sim (x_0, y_2, z_0) \sim (x_0, y_0, z_2) \sim (x_1, y_1, z_0). \quad (1.17)$$

Из (1.16) $(x_1, y_0, z_1) \sim (x_1, y_1, z_0)$, тогда, используя (1.17) можно записать

$$(x_2, y_0, z_0) \sim (x_1, y_0, z_1). \quad (1.18)$$

Поскольку критерии независимы по разности от своего дополнения выражение (1.18) будет справедливо при значении y_1 :

$$(x_2, y_1, z_0) \sim (x_1, y_1, z_1). \quad (1.19)$$

Аналогично

$$(x_1, y_2, z_0) \sim (x_1, y_1, z_1). \quad (1.20)$$

По свойству транзитивности:

$$(x_2, y_1, z_0) \sim (x_1, y_2, z_0). \quad (1.21)$$

Подобным образом можно продолжить рассуждения и на их основе эвристическое построение функции ценности получается в виде

$$v(x, y, z) = v_x(x) + v_y(y) + v_z(z). \quad (1.22)$$

Строгое доказательство для измеримых функций ценности дано в [76].

Изложенный подход к оценке альтернативных вариантов в работе представлен как метод функций ценности, сокращенно МФЦ

1.3.3. Применение функции ценности для оценки конкурентоспособности

Для получения конкурентоспособного изделия как результата всего процесса проектирования, на стадии обличового проектирования для выбора конкретной альтернативы, среди предлагаемых инженерных решений лицо, принимающее решение, должно использовать единый подход, интегрирующий проектирование, производство и маркетинг. При этом, как упоминалось ранее, для ЛПР задача выбора на этом этапе является слабоструктурированной в силу того, что решения, принимаемые в настоящий момент, направлены на реализацию изделия в будущем через 3-7 лет. Даже на такой период точно рассчитать и оценить последствия в текущий момент времени нет возможности, хотя бы в силу нечеткости

целевых задач, которые предстоит решать разрабатываемому изделию в будущем.

Ряд авторов в задачах принятия решения сводят понятие качества к оценке технического уровня (ТУ) изделия. Под ТУ понимается определение, данное в ГОСТе 15467-79: "Технический уровень продукции - это относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями". Такой переход от понятия качества к ТУ возможен, если обратиться к определению качества, широко используемого в экономической литературе, основанного на предположении, что у рассматриваемого продукта есть некоторая единая точно измеряемая характеристика, которая однозначно предпочитается при оценке этого товара всеми покупателями. Из такого подхода следует, что изделия можно проранжировать по величине характеристики, т. к. чем эта характеристика больше (или меньше, в зависимости от природы этой характеристики) тем выше качество. В этом подходе можно предположить два противоречия для применения в обличковом проектировании. Первое - это возможность измерения пусть даже и одного параметра еще не существующего изделия и второе – это то, что качество рассматривается как некая единая врожденная характеристика.

Ранее в п. 1.2.1 мы показали взаимосвязь между общим философским понятием качества и конкурентоспособности ЗУР в виде трех составных частей (см. рис 1.3.), а так же указали, что только рынок может определить, насколько успешным для производителя явилось новое изделие. В свою очередь, рыночная успешность продукта определяется его конкурентоспособностью. Представление конкурентоспособности, состоящей из трех частей (полезность, затраты покупателя, способы продвижения на рынок) позволяет на ранних этапах проектирования учитывать факторы, обеспечивающие жизнеспособность нового изделия при его представлении на рынке в будущем, когда проект превратится в готовое

изделие. Таким образом, при проектировании имеет смысл говорить о «проектной конкурентоспособности» (см. рис 1.4.), компоненты которой должны быть оценены ЛПР и объединены в единое целое для получения оценки конкурентоспособности создаваемого изделия для принятия решения на множестве рассматриваемых вариантов.

Если на множестве вариантов обликов ЗУР $A = \{a_i\}, i = 1..m$, для которых выбраны критерии $X_j, j = 1..n$, целесообразные для оценки выполнения поставленных целевых задач, выполняются аксиомы данные в п. 1.3.1, то для просматриваемых обликов существует функция ценности. Эта функция позволит ЛПР проранжировать варианты ЗУР по предпочтению с точки зрения выполнения поставленных целевых задач, тем самым получая оценку полезности каждой альтернативы. Оценка стоимостных и неценовых категорий конкурентоспособности, а также их дальнейшее объединение находится вне рамок настоящей работы. Далее мы концентрируемся на решении задачи выбора облика ЗУР, максимизирующего полезность. Этот подход проиллюстрирован на рис. 1.4. Пунктирной линией обозначена область настоящего диссертационного исследования.

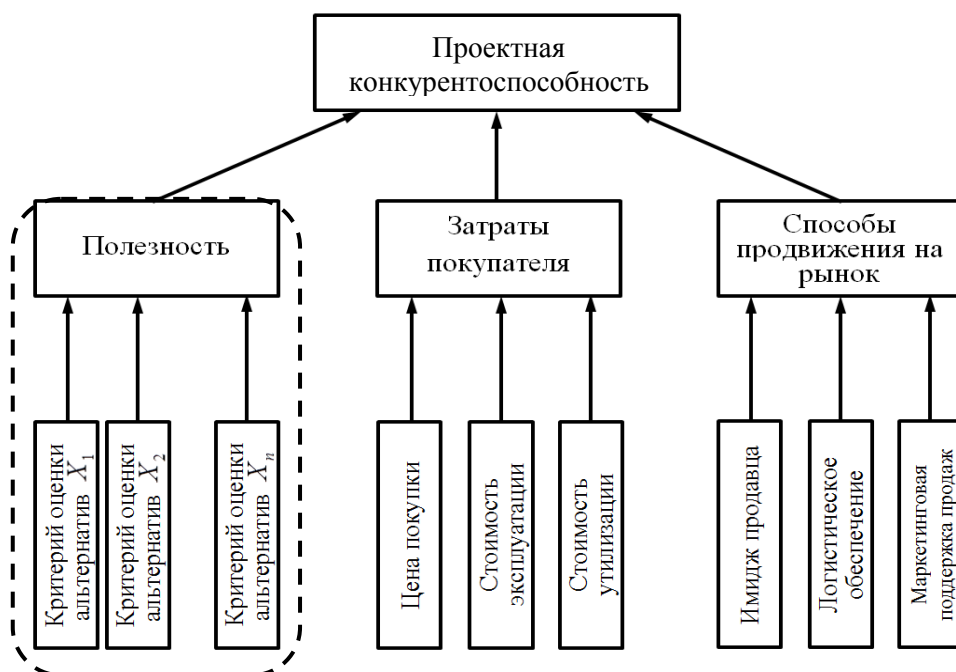


Рис. 1.4 Модель оценки проектной конкурентоспособности

Глава 2. Основные положения методики формирования альтернатив облика ЗУР. Модель оптимизации альтернатив

2.1 Формирование альтернативных вариантов

В первой главе мы перешли от обсуждения широких и общих категорий качества и конкурентоспособности к более узкому понятию полезность изделия. Так же было замечено, что полезность и ценность изделия в рамках теории ценности совпадают.

Дадим определение ценности изделия для использования результатов этой теории в наших исследованиях.

Ценность изделия есть величина, соответствующая мнению рационального ЛПР по степени соответствия конкретной альтернативы тем задачам, ради которых происходит выбор среди рассматриваемых альтернатив, и которая им максимизируется в процессе принятия решения.

ЛПР может считаться рациональным, если его решения являются результатом упорядоченного процесса мышления. Упорядоченность означает, что в процессе мышления соблюдаются аксиомы, сформулированные в разделе 1.3.1.

В настоящей работе предлагается представлять обликовые исследования в виде трех составных частей:

- формирование альтернативных вариантов на основе предварительных изысканий для создания области возможных решений, в которой каждая альтернатива имеет то или иное конкурентное преимущество или их комбинацию;
- анализ динамических свойств ракеты и расчёт промаха;
- выбор конкурентоспособного варианта ЗУР на основе функции ценности.

Для формирования множества альтернативных вариантов обликов ЗУР *предварительные изыскания* является, по сути, определяющим этапом. В этот период генерируются технические идеи, обеспечивающие возможность создания новых изделий. Теоретические решения проблемы могут быть результатом целенаправленных поисков, диктуемых эксплуатацией ЗУР, или вытекать из общей теории в данной узкой области науки. В этот период экспериментально проверяется практическая ценность научно-технических решений и открытий, уточняются теоретические предпосылки, анализируется реализуемость новых идей.

Проведение предварительных изысканий невозможно без базы знаний сформированной в результате непрекращающихся работ по созданию научно-технического задела (НТЗ). Во всех развитых странах мира этот процесс служит базой для новых разработок и производств и поэтому является предметом особой заботы и планирования со стороны государства. Создание НТЗ невозможно переоценить. «Это связано, прежде всего, с тем, что тактико-технические характеристики (ТТХ) большинства современных видов вооружения и техники (ВВТ) уже сейчас достигли своих предельных значений в рамках используемых схемных и технологических решений. инноваций, требующих колоссальных финансовых затрат» [144].

В настоящее время создание НТЗ уже поглощает порядка 10% от общих бюджетных затрат на развитие ВВТ. Одной из причин увеличения стоимости разработки образцов новой техники является исчерпание научно-технического задела, созданного в 80-90-х годах XX века, а также недофинансирование исследований фундаментального и поискового характера и разработок по созданию перспективных военных технологий.

Каждый вариант ЗУР из множества альтернативных вариантов, формируемых в процессе обликового проектирования, предназначен для решения поставленных целевых задач. Их формирование является весьма сложной проблемой, поскольку он значительно разнесен во времени с началом эксплуатации системы и те задачи, ради которых создается новая

ракета, могут быть еще не до конца реализованы и доступны для исследования. Ценным источником новых решений в этом случае являются эвристические методы [45].

Целевые задачи в настоящее время обусловлены большим диапазоном высот, скоростей и маневренных качеств поражаемых целей, что требует высокой адаптивности боевого снаряжения ракет и высокой вероятности поражения цели одним выстрелом. Следствием этого, важнейшей задачей обликового проектирования становится исследование динамики и управления полетом, разработка новых структур аппаратного обеспечения точности наведения ракеты на разнообразные цели.

По нашему мнению, формулировка целевой установки должна быть ориентирована на поражение наиболее сложных целей типа оперативно-тактические баллистических ракет (ОТБР) и скоростных маневрирующих низколетящих БЛА.

Целевые задачи на рассматриваемом этапе формируются практически одновременно с разработкой облика ракетного комплекса на основе информации о последних достижениях НТП. Таких задач может быть сформулировано несколько и в прогностическом плане целесообразно ориентироваться на следующие типы целей (см. например [139]).

Целевая задача 1. Перехват малозаметной, маловысотной цели, для которой характерно небольшое время самонаведения и высокие требования по быстродействию.

Целевая задача 2. Перехват высотной цели, для которой заметно проявляется понижение маневренности ракеты вследствие уменьшения плотности воздуха.

Целевые задачи позволяют обозреть объект проектирования и в виде технических требований, наметить границы возможных решений, подлежащие количественной проработке. На основе сравнительного анализа достигнутых и реально достижимых характеристик формируются целевые установки и выявляются потребные конкурентные преимущества,

подлежащие внедрению в новом проекте. Это центральная задача предварительных изысканий.

В процессе решения этой задачи формулируются конкурентные преимущества нового изделия, характеризующие достижения НТП. Конкурентные преимущества анализируются в широком диапазоне нововведений и отражают научно-технические, производственные, эксплуатационные, эргономические и другие стороны изделия. Особую ценность имеют преимущества, связанные с совершенствованием системы управления ракетой, повышения ее динамических свойств и уменьшение промаха.

Нахождение ниши для новой ракеты является задачей более высокого иерархического уровня. На этапе предварительных изысканий могут просматриваться лишь качественные параметры ниши. В их числе характеристики существующих и перспективных средств нападения и тактики их боевого применения, структура и сценарии функционирования системы ПВО, технический уровень компонентов системы. На основе анализа технико-экономического уровня существующей системы и внедряемых конкурентных преимуществ выявляется целесообразный уровень преемственности технических средств и требуемые разработки.

Ориентируясь на достигнутые результаты НТП в области оборонной техники, в качестве первоочередных направлений проектных разработок ЗУР, целесообразно выделить следующие проблемы [4]:

1. Повышение точности наведения и интеллектуализация ракет. Основными задачами этой проблемы являются: совершенствование обмена информацией и радиокоординатометрирования; повышение маневренности ракет, особенно в зоне поражения цели; расширение функций управления за счет интеллектуализации борта в интересах оперативного решения тактических задач; обеспечение помехоустойчивости ракет.

2. Конструкторско-технологический инжиниринг, нацеленный на принципиально новые формы связи науки, техники и производства, в центре

которых унифицированные информационные технологии и широкое использование малых специализированных предприятий. Унификация, модульность, новые конструкционные материалы и технологии - база повышения производительности труда.

3. Энергетическое совершенствование ракет. Эта проблема может быть решена с двух направлений: во-первых, путем снижения потребного суммарного импульса двигательной установки за счет оптимизации траектории полета при использовании многократного включения двигателя и гибкого управления вектором тяги; во-вторых за счет применения новых типов двигательных установок, новых источников энергии, повышения удельного импульса тяги.

4. Совершенствование боевого снаряжения ракет преимущественно за счет использования информационно-управляющих систем по определению момента подрыва боевой части и по организации процесса поражения цели (например, поля разлета осколков). Большой интерес представляют новые типы боевых частей.

5. Эксплуатационно-сервисное совершенство. Основными элементами этой проблемы являются эксплуатационная надежность (безотказность в работе, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость), эксплуатационная технологичность (контролепригодность, доступность, легкосъемность, взаимозаменяемость и др.) и транспортабельность.

6. Экологическое качество БЛА. Это новая характеристика технических систем вооружения, которая включает в себя показатели использования природных ресурсов и дефицитного сырья, безопасность эксплуатации (отсутствие факторов вредно влияющих на здоровье человека), возможность безопасной утилизации.

7. Перспективные способы борьбы с воздушно-космическими целями, организация единого информационного поля, широкое использование мобильных пусковых установок с ракетами средней дальности, применение

беспилотных воздушных платформ в качестве носителей и пусковых установок ракетного оружия.

Для современных ЗРК характерна весьма сложная структура и наличие разнообразных функциональных связей между элементами комплекса. Интегрирование ракеты с пусковой установкой устанавливает ряд ограничений на проектные параметры, которые должны быть учтены на возможно более ранних этапах проектирования. К таким ограничениям могут относиться масса ракеты, ее габариты. Процесс разработки требует проведения итераций с целью гармонизации ракеты с пусковой установкой в интересах сценариев применения, используемых концепций и технологий. Только в ограниченном количестве случаев удастся модифицировать существующую пусковую установку для новой ракеты [110].

Предварительные варианты обликов ЗУР являются результатом творческой деятельности проектировщика, который на основе предварительных изысканий, используя НТЗ, предлагает свое видение вариантов ракет, обладающих конкурентными преимуществами с точки зрения решения поставленных целевых задач. Для включения варианта во множество возможных решений требуется уточнить и оптимизировать предварительно выбранные параметры ракеты, что происходит в процессе баллистического проектирования [4, 6, 8, 10, 48, 64, 66, 70, 71, 72, 77 и др.].

Баллистическое проектирование – это метод аналитического решения задачи обликового проектирования ЗУР, центром которого является баллистический расчёт, выполняемый на основе упрощенной математической модели. Приближенный характер модели обусловлен недостаточностью данных на этом этапе проектирования, требуемых для реализации строгой математической модели функционирования и управления ЗУР.

Целью баллистического проектирования является уточнение предварительно выбранных параметров ракеты. Оно достигается на основе расчёта профиля скоростей, программы работы двигателя, относительной

массы топлива, удовлетворяющим заданным условиям полета, а также определения параметров движения ракеты в момент включения ГСН, необходимых для последующего анализа.

Используемые при баллистическом проектировании упрощенные математической модели ракеты дают возможность существенно уточнить предварительно выбранные параметры. Однако их по-прежнему следует рассматривать как приближенное проектное решение. Далее облик и параметры ракеты неоднократно уточняются (по результатам компоновки ракеты, результатам математического моделирования с использованием полной математической модели управления ЗУР, на основе данных исследования отдельных систем ЗУР, после их конструктивной проработки).

В настоящей работе уточнение параметров облика проводится минимизацией дисперсии терминального промаха подбором коэффициентов обратной связи системы стабилизации ракеты по угловой скорости и по линейному ускорению, определяется вариант, обеспечивающий минимум дисперсии промаха, а для принятия решения сравниваются оптимальные по промаху альтернативы облика. Мы полагаем, что для решения задачи оптимизации баллистическое проектирование вариантов обликов ЗУР проведено и параметры движения в начале этапа самонаведения заданы в форме исходных данных.

Из всей совокупности областей совершенствования ЗУР упомянутых выше было решено ограничиться повышением точности наведения и повышения мощности боевой части. Для этого просматривались облики ракет, имеющие следующие конкурентные преимущества:

- двигатель поперечного управления;
- головка самонаведения (ГСН), обеспечивающая увеличение дальности захвата цели;
- более мощная боевая часть (БЧ) (увеличенная масса БЧ);
- повышение маневренных качеств ракеты за счет увеличения массы топлива и/или расширения активного участка траектории;

- повышения боевой эффективности ЗУР за счет объединения ряда конкурентных преимуществ.

2.2 Анализ динамических свойств ракеты и расчёт промаха. Уточнение параметров облика оптимизацией параметров системы стабилизации.

В общем случае движение ЗУР является пространственным и описывается полной системой нелинейных дифференциальных уравнений движения совместно с уравнениями связи, описывающими работу систем управления [48]. При обликовом проектировании, как правило, уравнения функционирования ЗУР включают в себя упрощённые инженерные методы для расчёта газодинамических и энергетических параметров ДУ и аэродинамических характеристик ЗУР. Вместо пространственного движения, как правило, рассматривается движение ЛА, как материальной точки, в одной плоскости. Уравнения движения ЛА вокруг центра масс рассматриваются в предположении, что система управления работает идеально, переходные процессы протекают мгновенно и из рассмотрения исключаются сложные динамические уравнения работы бортовой системы управления. Уравнения закона управления заменяются уравнениями идеальных кинематических связей для принятого метода наведения. Предполагается, что альтернативы описываются обликowymi параметрами, включающими структурные составляющие.

При анализе динамики ЗУР и для расчета промаха используется операторное представление движения в отклонениях относительно кинематической траектории. В этом случае уравнения движения представляются линейным дифференциальным уравнением с коэффициентами, зависящими от времени [135]:

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1}(t) \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1(t) \frac{dy}{dt} + a_0(t) y = u, \quad (2.2)$$

где y – выход системы; u – вход; $a_0, a_1 \dots a_{n-1}$ – коэффициенты, зависящие от времени. Решением системы (2.2) будет интеграл

$$y(t) = \int_{t_{in}}^t u(\tau)w(t, \tau)d\tau, \quad (2.3)$$

где t_{in} – время, когда сигнал u был подан на вход системы; функция $w(t, \tau)$ представляет собой отклик системы по времени t на импульсное возмущение, поданное на вход системы в момент времени τ , называемое весовой функцией.

Уравнение (2.3) является формальным решением уравнения (2.2). Для получения значений $y(t)$ в диапазоне времени от 0 до некоторого t_k , потребуется получить функции $w(t, \tau)$ для каждого момента $\tau \in [0; t_k]$ и после этого провести интегрирование для получения $y(t)$. Этой сложной процедуры можно избежать, если при решении воспользоваться методом сопряженных уравнений и перейти к, так называемому, модифицированному сопряженному дифференциальному уравнению [136]:

$$\frac{d^n z}{dt^{*n}} + \frac{d^{n-1}[a_{n-1}(t^*)z]}{dt^{*n-1}} + \dots + \frac{d[a_1(t^*)z]}{dt^*} + a_0(t^*)z = 0 \quad (2.4)$$

где z является функцией сопряженного времени $t^* = t_k - t$.

Если на вход сопряженной системы подается импульсное воздействие, то весовая функция $w^*(t^*, \tau^*)$ будет соотноситься с весовой функцией изначальной линейной системы следующим образом [135]:

$$w^*(t_k - \tau, t_k - t) = w(t, \tau), \quad (2.5)$$

где τ - время приложения импульсного воздействия; t - время наблюдения реакции системы; t_k - конечное время. Подставляя (2.5) в (2.3) и делая замену $\eta = t_k - \tau$, получаем

$$y(t) = \int_{t_k - t}^{t_k - t_{in}} u(t_k - \eta) w^*(\eta, t_k - t) d\eta \quad (2.6)$$

Откуда следует, что выход системы $y(t_k)$ в момент времени t_k при воздействии в нулевой момент времени ступенчатого сигнала величиной D будет

$$y(t_k) = D \int_0^{t_k} w^*(\eta, 0) d\eta \quad (2.7)$$

Таким образом, реакцию исследуемой системы в конечный момент времени можно получить за одно моделирование сопряженной системы реакции на импульсное воздействие. Интегрирование уравнения (2.7) ведется по времени наблюдения реакции системы, а не по времени приложения воздействия как в уравнении (2.3). Уравнение (2.7) можно представить в графическом виде (рис. 2.2).

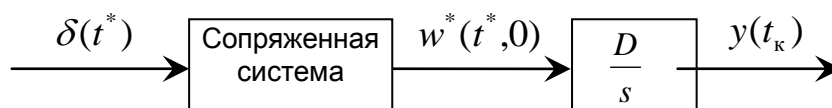


Рис. 2.2. Решение при помощи сопряженной системы

Ниже предлагается методика для практического анализа линеаризованной системы самонаведения ракеты по методу пропорциональной навигации.

Пусть задана квазиинерционная система координат, связанная с плоской Землей XU . В этой системе координат на встречных курсах движутся ракета и цель (рис. 2.3).

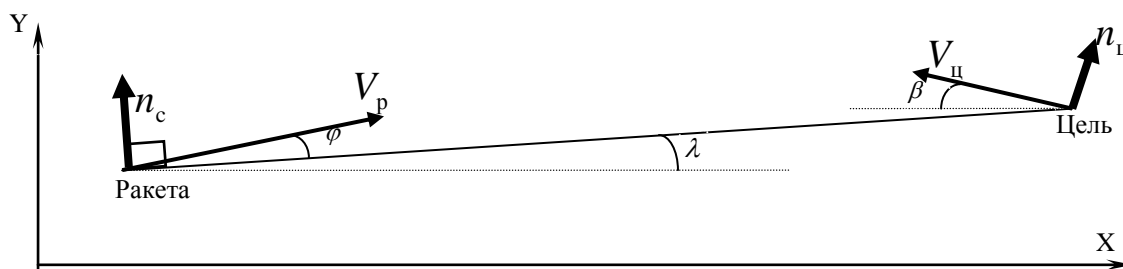


Рис. 2.3. Наведение ракеты на цель; плоский случай.

На рисунке показаны V_p и $V_{ц}$ - скорости ракеты и цели; n_c - требуемое по закону наведения ускорение ракеты, перпендикулярное линии визирования ракета-цель; $n_{ц}$ - ускорение цели.

Для получения линейной системы дифференциальных уравнений, описывающих наведение ракеты на цель, положим, что скорости ракеты и цели постоянны, а углы λ, φ, β малы.

Взаимное ускорение ракеты и цели может быть записано как

$$\ddot{y} = n_{ц} \cos \beta - n_c \cos \lambda \quad (2.8)$$

Если углы малы, то уравнение (2.8) можно приближенно записать в виде:

$$\ddot{y} = n_{ц} - n_c. \quad (2.9)$$

При использовании пропорционального закона наведения уравнение (2.9) примет вид

$$\ddot{y} = n_{ц} - NV_{сб} \dot{\lambda}, \quad (2.10)$$

где N - постоянная пропорционального закона наведения; $V_{сб} = V_p + V_{ц}$ - скорость сближения ракеты и цели; $\dot{\lambda}$ - скорость поворота линии визирования.

При малых значениях угла наклона линии визирования справедливо соотношение:

$$\lambda = \frac{y}{R_{рц}}, \quad (2.11)$$

где $R_{рц}$ - расстояние между ракетой и целью, которое может быть записано как

$$R_{рц} = V_{сб} (t_k - t) \quad (2.12)$$

В уравнении (2.12) t_k - время перехвата цели и t - текущее время.

Заметим, что при $t = t_k$, и $R_{pц} = 0$ величина $y(t_k)$ будет представлять собой промах ракеты.

Приведенные уравнения представим в виде блок-схемы на рис 2.4.

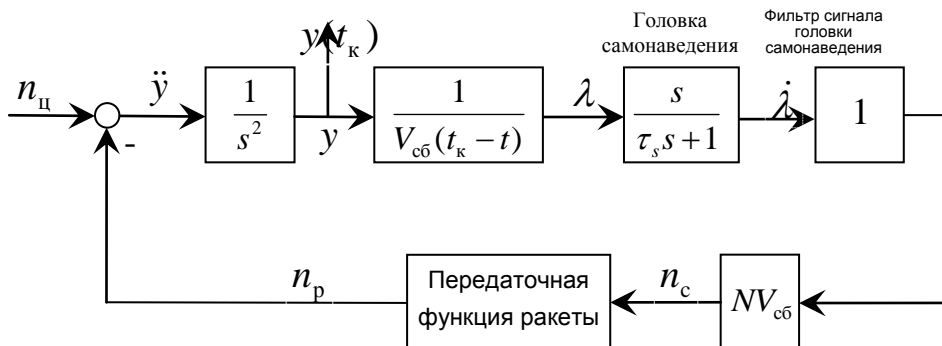


Рис. 2.4. Блок-схема линеаризованного варианта самонаведения по методу пропорциональной навигации. τ_s - постоянная времени головки самонаведения.

Добавим ряд блоков к исследуемой линейной системе для получения вида, удобного для преобразования в сопряженную систему.

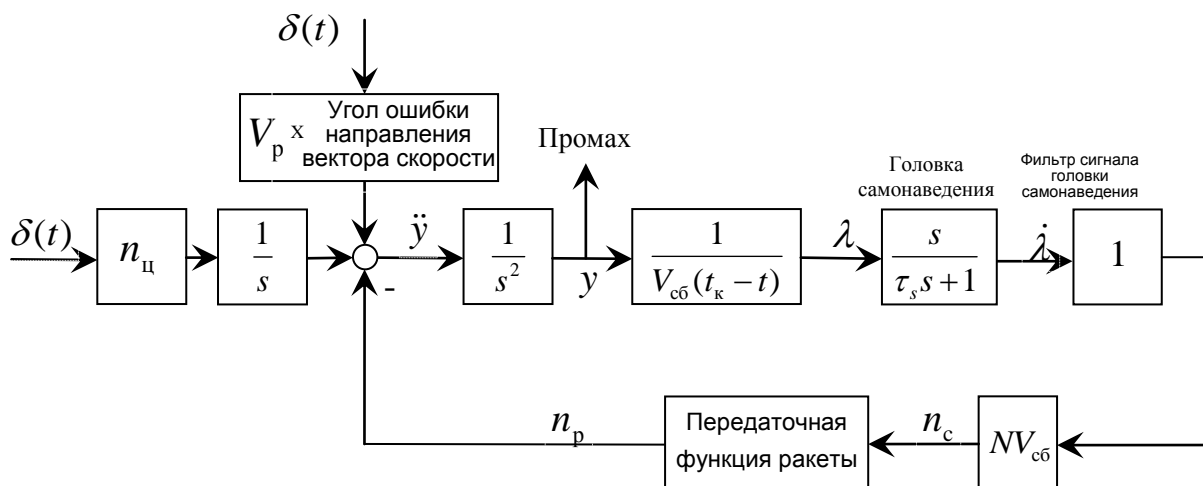


Рис. 2.5. Модифицированная блок-схема системы самонаведения по методу пропорциональной навигации; $\delta(t)$ - функция Дирака.

Для детерминированного случая сопряженная система примет вид, изображенный на рисунке 2.6.

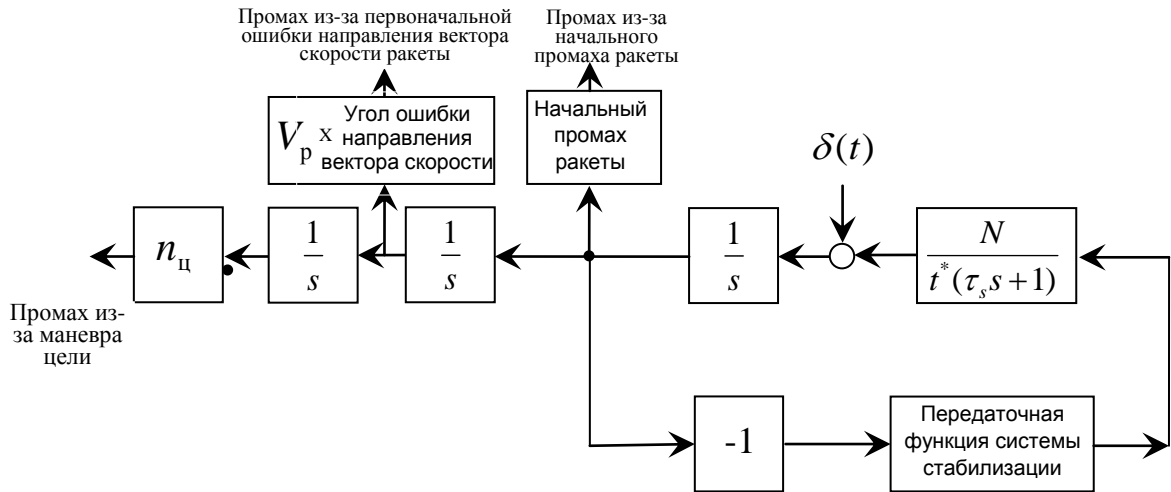


Рис. 2.6 Блок-схема сопряженной системы, приведенной на рис 2.5.

Передаточная функция системы стабилизации ракеты может быть представлена [64] как

$$W(s) = \frac{n_p(s)}{n_c(s)} = \frac{k}{T^2 s^2 + 2T\xi s + 1}, \quad (2.13)$$

где $n_c(s)$ - требуемое по закону наведения ускорение ракеты, перпендикулярное линии визирования ракета-цель; $n_p(s)$ - ускорение создаваемое ракетой;

$$k = \frac{V_p a_3 a_4 k_{ДЛУ}}{V_p a_3 a_4 k_{ДЛУ} + a_2}; \quad T = \frac{1}{\sqrt{V_p a_3 a_4 k_{ДЛУ} + a_2}};$$

$$\xi = \frac{a_3 k_{ДУС} T}{2}.$$

Динамические коэффициенты a_2, a_3, a_4 зависят от особенностей конструкции, компоновки и аэродинамики рассматриваемых альтернативных вариантов, способа создания управляющих сил и моментов.

Система стабилизации современных зенитных ракет имеет две обратные связи – по угловой скорости и по линейному ускорению. Подбирая их

коэффициенты усиления ($k_{\text{ДУС}}$ и $k_{\text{ДЛУ}}$), можно менять значения постоянной времени T и коэффициента демпфирования ξ для минимизации промаха ракеты и/или минимизации времени обработки ошибки, которую ракета имеет на момент начала этапа самонаведения, а также в результате маневра цели.

Изложенный подход может быть применен только для системы, которую можно считать линейной. В случае если допущение линейности не может быть принято (например, потребные перегрузки выходят за принятые предельные значения), промах может быть оценен дисперсией случайной величины $y(t_k)$ в системе, находящейся под воздействием случайных процессов. При этом движение цели, а также шумы и неточность работы отдельных элементов должны быть представлены в виде случайных процессов с известными характеристиками. Далее, в рамках данного подхода, возможно учесть ограниченность максимальной перегрузки, которую может создать ракета. Добавляя в систему, изображенную на рис 2.5, нелинейный элемент, получим систему рис. 2.7.

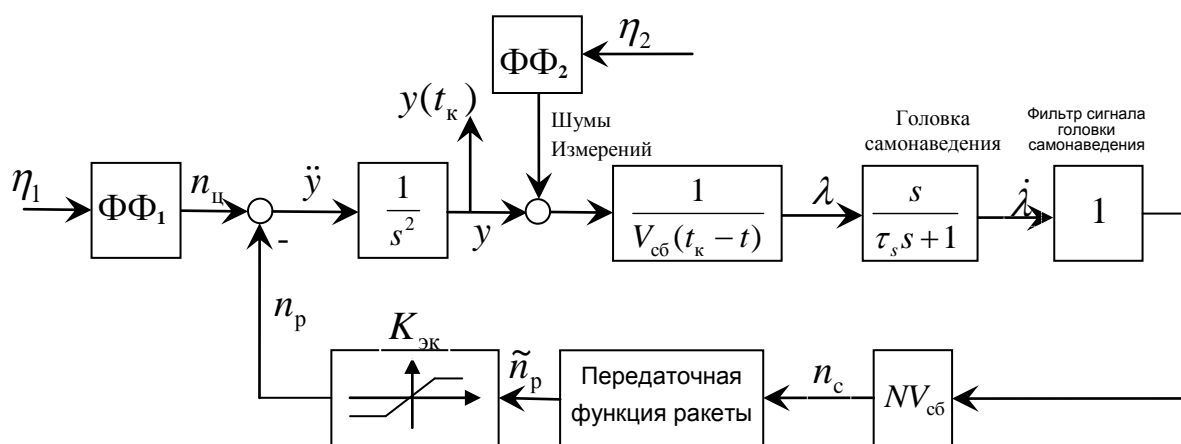


Рис. 2.7. Блок-схема линеаризованного варианта самонаведения по методу пропорциональной навигации с нелинейным звеном.

Вся система, изображенная на рис 2.7, находится под воздействием случайных процессов, которые моделируют маневр цели, шумы головки и

неточности измерений. Для учета влияния неточности измерения скорости изменения угла визирования головкой самонаведения в систему добавляется сигнал, имитирующий случайное воздействие до блока ГСН. Нелинейный элемент типа «насыщение» заменяется эквивалентным, полученным по методу статистической линеаризации [137]. Значение дисперсии промаха далее рассчитывается, используя метод ковариационного анализа [135].

Кратко приведем основы ковариационного анализа.

Для применения метода [135] необходимо представить входные сигналы исследуемой линейной системы в виде фильтра, на вход которого подается гауссовский белый шум с заданной спектральной плотностью. Динамика такой системы может быть описана следующим дифференциальным уравнением первого порядка в матричной форме:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)\eta(t); \quad x(0) = 0; \quad (2.14)$$

где $x(t)$ - вектор состояния системы; $A(t)$ - матрица динамических коэффициентов системы или матрица сноса; $B(t)$ - матрица диффузии; $\eta(t)$ - вектор белого шума с ковариационной матрицей $N_\eta = E[\eta(t)\eta^T(t)]$.

Матричное дифференциальное уравнение, описывающее изменение ковариационной матрицы вектора системы (2.14) записывается в виде [135]:

$$\dot{K}_x(t) = A(t)K_x(t) + K_x(t)A^T(t) + B(t)N_\eta B^T(t); \quad K_x(0) = 0; \quad (2.15)$$

где $K_x(t) = E[x(t)x^T(t)]$ - ковариационная матрица вектора состояния системы, у которой диагональные элементы представляют собой дисперсию элементов вектора состояния, при условии, что случайные процессы, под воздействием которых находится система, имеют нулевое математическое ожидание.

Запишем дифференциальные уравнения, описывающие систему, приведенную на рис 2.7.

$$\dot{\lambda} = \frac{1}{\tau_s} \left(\frac{y}{V_{сб}(t_k - t)} - \lambda \right); \quad (2.16)$$

$$T^2 \ddot{\tilde{n}}_p + 2T \dot{\tilde{\zeta}}_p + \tilde{n}_p = kn_c; \quad (2.17)$$

$$n_p = K_{\text{эк}} \tilde{n}_p; \quad (2.18)$$

где $K_{\text{эк}}$ - параметр, определяемый по методу статистической линеаризации, оцениваемый формулой [137]:

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\sigma_{\tilde{n}_p} \sqrt{2\pi}} \int_{-n_p^{\text{max}}}^{n_p^{\text{max}}} e^{-x^2/(2\sigma_{\tilde{n}_p}^2)} dx;$$

n_p^{max} - максимальная перегрузка, реализуемая ракетой.

n_c - кинематическая перегрузка при пропорциональном законе наведения:

$$n_c = NV_{\text{сб}} \dot{\lambda}. \quad (2.19)$$

В соответствии с уравнением (2.9)

$$\ddot{y} = n_{\text{ц}} - n_p.$$

Для рассмотрения выбраны два варианта маневра цели – змейки и пикирования со случайным временем начала маневра, равномерно распределенным по интервалу времени самонаведения. Перегрузка цели может быть определена из следующих дифференциальных уравнений.

Маневр змейка:
$$\ddot{n}_{\text{ц}} = \omega_T \eta_1 - \omega_T^2 n_{\text{ц}}; \quad (2.20)$$

где η_1 белый шум с интенсивностью $n_{\text{ц,манев}}^2 / t_{\text{к}}$ и ω_T - круговая частота маневра цели; $n_{\text{ц,манев}}$ - перегрузка, с которой цель реализует маневр [138].

Маневр пикирование:
$$\dot{n}_{\text{ц}} = \eta_1; \quad (2.21)$$

где η_1 белый шум с интенсивностью $n_{\text{ц,манев}}^2 / t_{\text{к}}$; $n_{\text{ц,манев}}$ - перегрузка, с которой цель реализует маневр [135].

На основе уравнений (2.16) – (2.20) и (2.9) представим уравнение (2.14) в матричном виде для маневра цели змейка.

Матрица $A(t)$ в уравнении (2.22) приведена в явном виде. Матрица спектральной плотности $BN_{\eta}B^T$ (последнее слагаемое в уравнении (2.15)) запишется как

$$\begin{pmatrix} \dot{y} \\ \dot{y} \\ \dot{\tilde{n}}_p \\ \dot{\tilde{n}}_p \\ n_{\text{ц}} \\ \dot{n}_{\text{ц}} \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{\text{эк}} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{kN}{T^2\tau_s(t_k-t)} & 0 & -\frac{1}{T^2} & -\frac{2\xi}{T^2} & 0 & 0 & -\frac{kNV_{\text{сб}}}{T^2\tau_s} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_T^2 & 0 & 0 \\ \frac{1}{V_{\text{сб}}\tau_s(t_k-t)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_s} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} y \\ \dot{y} \\ \tilde{n}_p \\ \dot{\tilde{n}}_p \\ n_{\text{ц}} \\ \dot{n}_{\text{ц}} \\ \lambda \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{kNv}{T^2\tau_s(t_k-t)} \\ 0 \\ \omega_T u \\ v \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

$$BN_{\eta}B^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(kN)^2\Phi_{\text{шум}}}{(T^2\tau_s(t_k-t))^2} & 0 & 0 & \frac{kN\Phi_{\text{шум}}}{V_{\text{сб}}T^2(\tau_s(t_k-t))^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_T^2 n_{\text{ц}}^2 / t_k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{kN\Phi_{\text{шум}}}{V_{\text{сб}}T^2(\tau_s(t_k-t))^2} & 0 & 0 & \frac{\Phi_{\text{шум}}}{(V_{\text{сб}}\tau_s(t_k-t))^2} \end{pmatrix}, \quad (2.23)$$

где $\Phi_{\text{шум}}$ интенсивность белого шума, имитирующего эффект фединга.

При интегрировании уравнения (2.15) в рамках выбранного варианта ЛА с разными значениями $k_{\text{дус}}$, $k_{\text{длу}}$ и, зафиксировав динамические коэффициенты a_2, a_3, a_4 ракеты в точке траектории, соответствующей моменту начала этапа самонаведения, производится минимизация дисперсии

промаха и для принятия решения при сравнении альтернатив ЗУР сравниваются оптимальные по промаху конструкции. Поскольку в данной постановке задачи промах определяет вероятность поражения, то альтернативы оптимизируются по самому значимому критерию.

2.2.1 Оценка вероятности поражения воздушной цели

Поражение воздушной цели рассматривается как случайное событие, состоящее из двух случайных событий, происходящих последовательно во времени. Первое случайное событие, заключается в том, что подрыв БЧ ракеты происходит именно в данной точке пространства при промахе R . Второе случайное событие заключается в том, что подрыв БЧ при промахе R приведет к поражению цели. Вероятность этого события определяется условным законом поражения цели. При круговом распределении ошибок наведения и управления условный закон поражения цели приближенно описывается зависимостью [48]

$$P_{\text{пор}}(R) = e^{-0.5\left(\frac{R}{R_0}\right)^2}. \quad (2.24)$$

Величина $P_{\text{пор}}(R)$ определяет вероятность поражения цели при промахе, равном R и, таким образом, зависит от случайного значения промаха.

R_0 – величина промаха, при которой вероятность поражения цели равна 0.606.

$$R_0 = k_n k_t \sqrt{m_w}, \quad (2.25)$$

где m_w - масса боевой части, k_n - коэффициент направленного действия боевой части (БЧ), k_t - коэффициент уязвимости цели, R - расстояние между ракетой и целью в момент подрыва боевой части.

Имея дисперсию и принимая гауссовский характер распределения промаха, вероятность подрыва БЧ ракеты при промахе R определяется соотношением

$$P(R) = \frac{1}{\sigma_{y(t_k)} \sqrt{2\pi}} e^{-0.5 \left(\frac{R}{\sigma_{y(t_k)}} \right)^2} dR. \quad (2.26)$$

При этом вероятность поражение цели для рассматриваемого плоского случая будет:

$$W(R) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_{y(t_k)} \sqrt{2\pi}} e^{-0.5 \left(\frac{R}{\sigma_{y(t_k)}} \right)^2} e^{-0.5 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2} dR. \quad (2.27)$$

2.3 Критерии оценки вариантов обликов ЗУР. Предпочтения ЛПР

Как отмечалось в главе 1, обликовое проектирование ЗУР проводится до появления ТЗ заказчиком и разработчиком изделия, при этом результаты, положенные в основу последующих этапов проектирования во многом определяют конкурентоспособность получившегося продукта. Информация о том, насколько хорошо тот или иной вариант выполняет поставленные целевые задачи на этом этапе очень ограничена в силу, прежде всего, неполноты описания облика ракеты. Для суждения о выполнении поставленных задач выбираются с одной стороны показатели выполнения целевых задач, с другой стороны проектные показатели, которые в дальнейшем войдут в ТЗ и будут использоваться на всех этапах проектирования. Все эти показатели являются значимыми для ЛПР и должны вычисляться с приемлемой точностью. Эти показатели назначаются критериями.

В настоящей работе считаются заданными два тактических критерия (вероятность поражения цели одной ракетой и дальность поражения) и один технический критерии (начальная масса). Неявно присутствует ограничение по габаритам, т. к. рассматриваются варианты с диаметром корпуса 0.275 м и длиной от 4.60 до 5.29 м.

Лицо или лица, принимающие решения, оценивают решение поставленных перед ними задач $O = \{o_q\}, q = 1..h$ через значение доступных для наблюдения критериев $X_j, j = 1..n$. В общем случае критерии взаимосвязаны между собой, однако характер этой зависимости нам не известен. Обладая знаниями и опытом, ЛПР имеет мнение и суждение о том, как различные значения критериев характеризуют выполнения целевых задач. Мы считаем, что известны предпочтения ЛПР для каждого критерия в виде функции ценности одного аргумента, переводящие значения критериев в ценность этого значения для ЛПР с точки зрения выполнения целевых задач без каких-либо дополнительных условий, накладываемых на значения других критериев. Вид этих функций приведен в главе 3.

Глава 3. Задача принятия проектного решения: методика и пример расчёта

3.1 Область применения МФЦ

В современном мире выбор варианта успешного сложного технического продукта зависит от возможности исследователей и лиц, принимающих решения, рассмотреть и оценить большое количество альтернатив со значительным числом параметров и критериев эффективности, описывающих успешность функционирования изделия с разных точек зрения. Согласно исследованию [81] более половины промышленных компаний оценивают свою деятельность по выводу на рынок новых продуктов как «разочаровывающую» и «неприемлемую». В другом исследовании [82] утверждается, что 41% изделий, прошедших все стадии разработки и пущенные в производство, терпят неудачу на рынке. До 70% средств, которые компании расходуют на новые продукты, тратятся на изделия, обреченные на неудачу на рынке [83].

Существует много предпосылок для того, чтобы считать, что в будущем будет еще сложнее разрабатывать успешный на рынке сложный технический проект. Причиной являются усиливающаяся конкуренция, информатизация всех сторон жизни, влияние социальной сферы, усиление роли государственных регулирующих органов, ограничение финансовых ресурсов и сокращение жизненного цикла изделий.

В аэрокосмической области техники при обливом проектировании часть параметров будущего изделия рассчитывается по приближенным математическим моделям, а часть получается по экспертным оценкам (характерная особенность слабоструктурированных задач). При этом со стороны ЛПР имеют место конфликтные требования к параметрам изделий. В таких условиях способ построения решающего правила будет определять

выбор лучшей альтернативы для дальнейшего проектирования. и для нахождения компромиссного решения методы решения многокритериальных задач могут быть очень полезны.

В литературе для решения слабоструктурированных задач выделяют четыре категории распространенных методов.

3.1.1 Аксиоматические методы.

Среди более 70 методов, разработанных для решения многокритериальных задач, примерно, за 40-летнюю историю этой области знания [84], существует категория методов, которые связывают параметры и/или критерии изделия с предпочтением лица или группы лиц, принимающих решение, через некоторую функцию (для удобства, обычно, линейную). Предпочтение представляет собой ожидаемую полезность от конкретного варианта изделия с данными параметрами и реализующего определенные значения критериев.

Модели, описывающие такие задачи принятия решения, разработаны в рамках теории многокритериальной полезности и изложены в блестящем труде Кини и Райфа [77] и расширены Даером и Саринем в [76] теорией Кардинальных Функций Ценности. Эта теория предлагает систему аксиом, позволяющую доказать существование функции ценности определенного вида, которая адекватно включает в себя нелинейные предпочтения лица или лиц принимающих решение. Помимо этого, после построения общей функции ценности, полученный результат позволяет оценивать не только существующие альтернативные варианты, но и новые, не рассматриваемые ранее. И более того, функция ценности может быть построена заранее.

Предлагаемый в настоящей работе МФЦ строит кардинальную функцию ценности аддитивного вида для решения задачи принятия решения на этапе обlikового проектирования.

3.1.2 Прямые методы. Сравнение Метода Анализа Иерархий и Метода Функции Ценности.

Прямыми методами решения многокритериальных задач называют такие, в которых зависимость для решающего правила, которая трактуется как полезность, задается без всякого теоретического обоснования. Параметры этой зависимости непосредственно оцениваются ЛПР.

Среди прямых методов наиболее часто используемыми являются метод взвешенных сумм и метод деревьев решений. Зависимость для метода взвешенных сумм имеет вид:

$$u(a) = \sum_{j=1}^n \omega_j o_j(x_j),$$

где $u(a)$ - оценка полезности альтернативы a ; $o_j(x_j)$ - оценка альтернативы a по j - му критерию, измеренная по количественной шкале; ω_j - вес j - го критерия, также измеренного по количественной шкале.

В настоящее время появляется большое количество работ, посвященных теоретическому обоснованию методики построения взвешенных сумм разработанной Т. Саати – метод анализа иерархий (МАИ).

Представление функции ценности альтернатив характеризуемых набором атрибут $X_j, j=1..n$ в аддитивной форме (1.11) напоминает функционал, записываемый при применении метода анализа иерархий в многофакторных задачах при поиске решений.

Практическое применение МАИ включает в себя три этапа:

1. Иерархическое представление многофакторной задачи, в котором нижний уровень составляют альтернативы решения задачи, верхний уровень содержит главную цель, а промежуточные уровни занимают критерии, по которым происходит экспертное оценивание.

2. Проведение парных сравнений с целью определения количественной оценки влияния элементов каждого уровня иерархии (альтернатив, критериев) на каждый элемент соседнего с ним верхнего уровня иерархии.

3. Получение приоритетов, представляющих собой оценочный счет, на основе которого делается вывод о наилучшей альтернативе (из числа рассматриваемых на нижнем уровне иерархии).

Схематично решение по МАИ может быть представлено в виде рис 3.3. и табл. 3.12.

Рис.3.3 иллюстрирует мнение лица, принимающего решение, о выполнении главной цели, зависящей от нескольких групп критериев, которые в свою очередь зависят от отдельных критериев. Значения критериев оценки альтернатив $a_1 \dots a_s$ известны в качественной или количественной форме – табл. 3.12. Методом парного сравнения эффекта групп критериев на конечную цель вычисляются весовые коэффициенты $G_1 \dots G_n$. Далее, используя тот же метод, вычисляются весовые коэффициенты C_i эффекта каждого критерия внутри группы критериев.

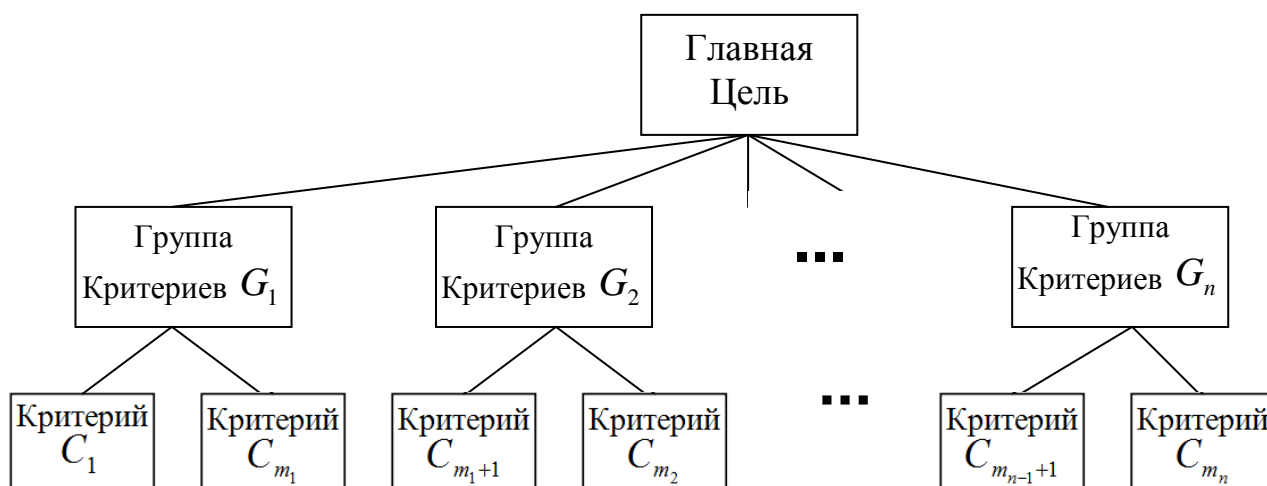


Рис. 3.3. Пример иерархического представления критериев для МАИ

Табл. 3.12

	C_1	...	C_{m_1}		C_{m_1+1}	...	C_{m_2}	...	$C_{m_{n-1}+1}$	...	C_{m_n}
a_1	r_1^1	...	$r_{m_1}^1$		$r_{m_1+1}^1$	...	$r_{m_2}^1$	...	$r_{m_{n-1}+1}^1$	...	$r_{m_n}^1$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a_s	r_1^s	...	$r_{m_1}^s$		$r_{m_1+1}^s$	...	$r_{m_2}^s$	...	$r_{m_{n-1}+1}^s$	...	$r_{m_n}^s$

И на последнем этапе, попарно оценивается насколько сильно по каждому критерию значимо конкретное значение, которое принимает критерий для сравниваемых альтернатив - r_j^s - весовой коэффициент, который соответствует значению критерия конкретной альтернативы.

Таким образом, оценку полезности для j -ой альтернативы можно записать следующим образом

$$v_{\text{МАИ}}(a_j) = \sum_{l_1=1}^n G_{l_1} \left(\sum_{l_2=1}^{m_n} C_{l_2} r_{l_2}^j \right) \quad (3.1)$$

Как отмечалось выше, измеримая функция ценности одного аргумента описывает перевод значений атрибута X_j в значение ценности этой величины для ЛПР. В МАИ используются весовые коэффициенты критериев, отражающие значения важности характеристик заданного набора альтернатив для критерия более высокого уровня на основе матрицы парных сравнений. Получение результатов парных сравнений, отражающих действительное и согласованное предпочтение ЛПР (или группы ЛПР), может быть связано со значительными процедурными сложностями [85, 86].

Как было отмечено в [86], МАИ базируется на сравнении отношений предпочтений. Так, например, для получения r_j^s рассчитываются отношения

$$\frac{v(a_q(x_j))}{v(a_p(x_j))} \text{ для всех сочетаний } p, q \in \{1, 2, \dots, m_n\}, \text{ где } a_q(x_j) \text{ и } a_p(x_j)$$

значения j -ого критерия альтернатив a_q и a_p ; для получения C_i подобным

образом рассчитываются отношения ценностей критериев в группе. Этот подход подразумевает, что для предпочтений, лежащих в основе МАИ, должны быть выполнимы операции сравнения отношений, что может и не выполняться в действительности. Для измеримой функции ценности требуется выполнения другого условия

$$a_i a_k \succ a_j a_g \Leftrightarrow v(a_i) - v(a_k) > v(a_j) - v(a_g),$$

которое является более общим случаем.

И последнее замечание. Оно касается использования функции ценности в МФЦ по сравнению с МАИ. Для получения функционала (3.1) требуется иметь в наличии некий набор альтернатив, по которым принимается решение, тогда как функция ценности в МФЦ может быть построена, даже не имея ни одной альтернативы для рассмотрения. Использование результатов теории функций ценности (а также теории функций полезности для случаев рассмотрения различного рода неопределенностей) открывает широкий горизонт использования автоматических систем принятия решения.

3.1.3 Методы компенсации.

Группа этих методов основана на идеи поиска компромисса между достоинствами и недостатками рассматриваемых альтернатив. Анализ сводится к поиску взаимно компенсирующихся оценок пары критериев (или групп критериев), которые вычеркиваются из рассмотрения после их нахождения. Для перехода от сравнения критериев к сравнению альтернатив часто используют метод кривых безразличия или метод сравнения разностей альтернатив. Последний, при определенных условиях, совпадает с методом взвешенных сумм [169].

Отметим некоторые существенные недостатки методов компенсации. На наш взгляд наиболее спорным является подход взаимного исключения разнородных критериев, характер изменения которых может быть весьма различный (например, изменение качественных и количественных

критериев). При построении кривых безразличия требуется свести количество критериев к двум, что может быть сложно реализуемо, а при рассмотрении уже трех критериев и более двух альтернатив построение поверхностей безразличия становится очень сложной задачей. В методе сравнения разности альтернатив необходимо следить за соблюдением свойства транзитивности оценок альтернатив.

3.1.4 Методы порогов сравнимости.

Данные методы выделяют из множества альтернативных вариантов Парето оптимальное множество (с точки зрения применяемого метода) на основе последовательного парного сравнения альтернатив по предпочтению. В этой категории наиболее используемыми являются методы ELECTRE, которые позволяют ЛПР сформировать Парето – оптимальное множество, назначив два индикатора согласия и несогласия гипотезы превосходства одной альтернативы над другой (при этом каждая альтернатива характеризуется многими критериями).

Отметим, что данный метод часто обсуждается в литературе и имеет широкое применение в случаях, когда имеется значительное число альтернатив, из которых требуется выбрать ряд наиболее подходящих, с точки зрения ЛПР. Формируется, так называемое ядро, куда попадают альтернативы, которые имеют достаточно противоречивые оценки, и остаются несравнимыми. Из этого вытекает существенное преимущество аксиоматических методов – гарантия полной сравнимости альтернатив.

Еще одним недостатком методов порогов сравнимости относят методологическую сложность обеспечения свойства транзитивности рассматриваемых альтернатив. Решению этой проблемы посвящена, например, статья [170].

3.2. Альтернативные варианты обликов ЗУР

Сущность рассматриваемой задачи – формализованный анализ проектных вариантов и выбор наилучшего из них в интересах решаемых целевых задач. Эти процедуры иллюстрирует схема на рис. 3.1, отражающая алгоритм принятия решения.

Целевая задача 1. Перехват малозаметной, маловысотной цели, для которой характерно небольшое время самонаведения и высокие требования по быстродействию.

Параметры цели: Высота полета - 10 м; Скорость - 750 м/с; Дальность пуска - 22 км (дальность прямой видимости); Дальность самонаведения - 3800 м; Дальность самонаведения для увеличенной ГСН - 5600 м; Маневр цели – змейка с перегрузкой 15 g и случайным временем начала маневра, равномерно распределенным по периоду самонаведения; эффект фединга цели учтен в системе добавлением белого шума в значение промаха со спектральной плотностью $1.5 \text{ м}^2/\text{Гц}$.

Целевая задача 2. Перехват высотной цели, для которой заметно проявляется понижение маневренности ракеты вследствие уменьшения плотности воздуха.

Параметры цели: Высота полета - 10 км; Скорость - 750 м/с; Дальность пуска - 70 км; Дальность самонаведения - 6700 м; Дальность самонаведения для увеличенной ГСН - 10000 м. Маневр цели – пикирование/кабрирование с перегрузкой 15 g и случайным временем начала маневра, равномерно распределенным по периоду самонаведения; эффект фединга цели учтен в системе добавлением белого шума в значение промаха со спектральной плотностью $1.5 \text{ м}^2/\text{Гц}$.

Максимальная располагаемая перегрузка всех рассматриваемых вариантов ракет составляет 50g. Постоянная времени головки самонаведения также одинакова для всех рассматриваемых случаев и $\tau_s = 0.001$.

Будем полагать, что поставленные целевые задачи могут быть выполнены различными ракетами с разным эффектом в зависимости от конкурентных преимуществ, которыми они обладают:

- устройство поперечного управления для повышения точности наведения ракеты;
- более совершенная ГСН, обеспечивающая увеличение дальности захвата цели;
- увеличенная масса БЧ;
- увеличенная масса топлива для расширения активного участка траектории и, как следствие, повышение маневренных качеств ракеты;
- повышение боевой эффективности ЗУР за счет объединения ряда конкурентных преимуществ.

Этим конкурентным преимуществам соответствуют следующие возможные альтернативные варианты ракет:

1. R_0 – базовый вариант ЗУР минимальной массы;
2. $R_{\text{ДПУ}}$ – альтернативный вариант ЗУР с двигателем поперечного управления;
3. $R_{\text{БЧ}}$ – вариант проекта с увеличенной массой боевой части;
4. $R_{\text{ГСН}}$ – ракета с увеличенной дальностью захвата цели головкой самонаведения;
5. $R_{\text{ГБ}}$ – ракета с увеличенной дальностью захвата цели и увеличенной массой боевой части;
6. $R_{\text{Т}}$ – ракета с увеличенной массой топлива.

Обликовые варианты, рассчитанные с использованием САПР-602, представлены в табл. 3.1.

Все исходные данные сбалансированы по базовому варианту, полученному на основе современной статистической информации (см. например [62], [145]-[149]). Параметры других вариантов скорректированы для реализации конкретных конкурентных преимуществ.

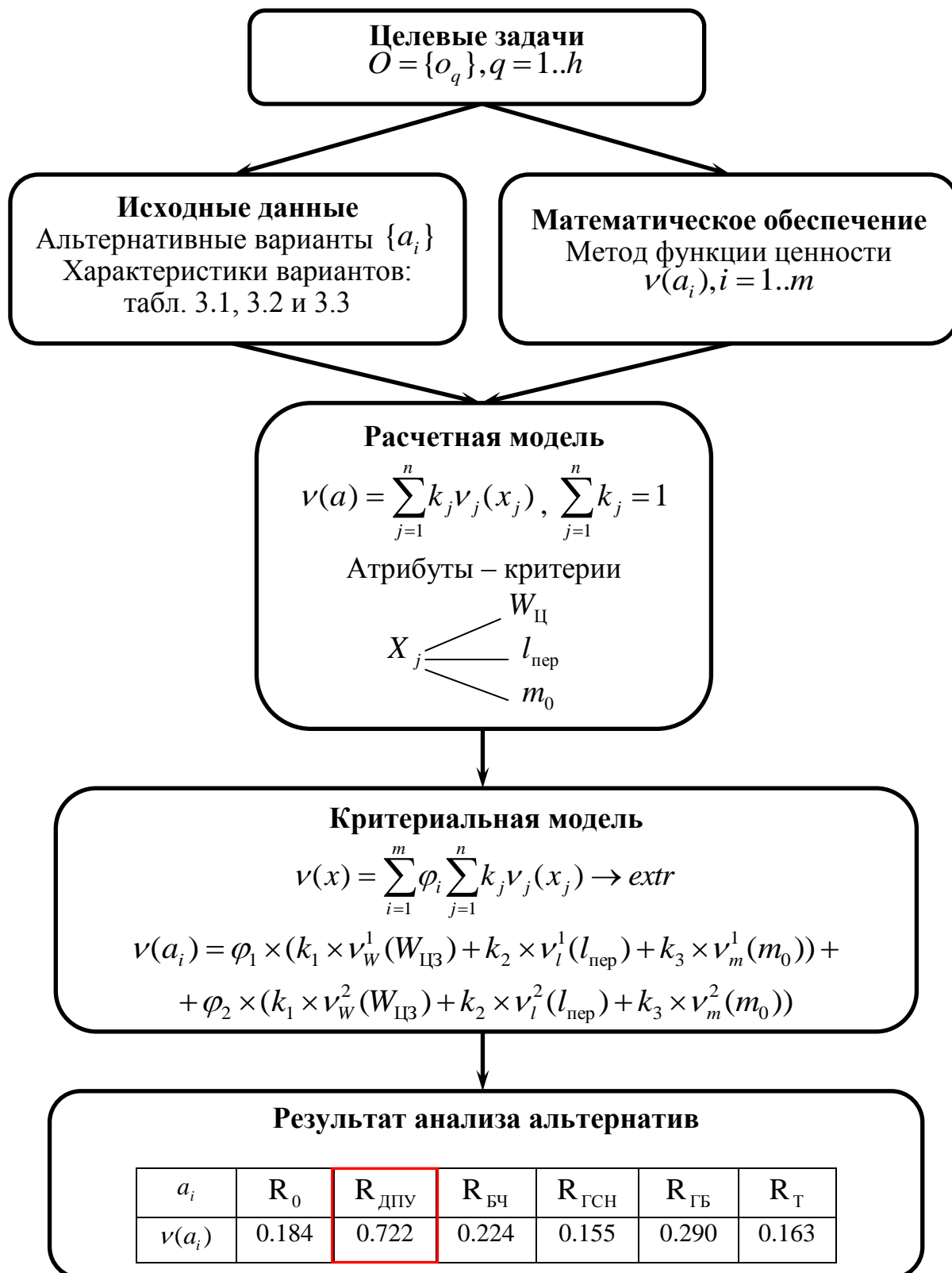


Рис 3.1. Алгоритм решения задачи принятия решения

	R_0	$R_{ДПУ}$	$R_{БЧ}$	$R_{ГСН}$	$R_{ГБ}$	R_T
Стартовая масса (кг)	401	444	443	414	443.6	444.3
Масса БЧ (кг)	30	30	75	30	62	30
Масса ДПУ (кг)		44.5				
Масса топлива (кг)	216	216	216	216	216	254
Масса ГСН (кг)	15	15	15	23	23	15
Диаметр антенны (м)	0.17	0,17	0.17	0.255	0.255	0.17
Диаметр корпуса ракеты (м)	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275
Длина (м)	4.60	4.75	4.95	5.17	5.29	5.14

Для исследования системы стабилизации рассматриваемых вариантов зенитной ракеты мы просматривали отработку системой стабилизации начального промаха 500 м и отклонения направления вектора скорости на 30 град., задав отсутствие маневра двух типов цели – низколетящей малозаметной и высотной. В качестве начального приближения значений коэффициентов усиления $k_{ДУС}$ и $k_{ДЛУ}$ приняты величины, приведенные в монографии В. Я. Мизрохи [64].

Все рассматриваемые варианты ракет приемлемо обрабатывают начальные ошибки менее чем за 1 секунду полета в режиме самонаведения (рис. 3.2).

Обликотые варианты далее оптимизируются путем минимизации дисперсии промаха, получаемого методом ковариационного анализа при разных значениях $k_{ДУС}$ и $k_{ДЛУ}$ и для принятия решения в последствии используются оптимальные по промаху альтернативы ЗУР.

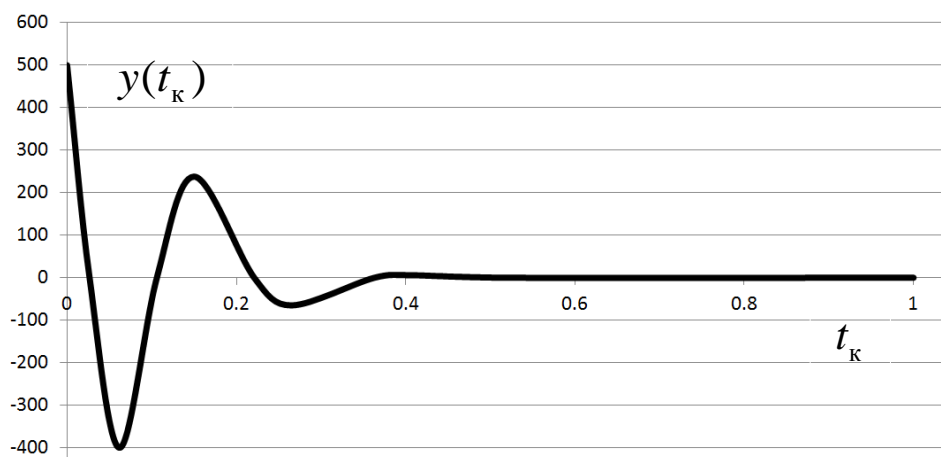


Рис. 3.2. Пример изменения промаха по времени при начальном промахе 500 м и ошибке направления вектора скорости ракеты 30 градусов.

Расчёт вероятности поражения ЗУР, оснащенной ДПУ, производится исходя из предположения, что система включения ДПУ работает идеально, а время включения выбирается из условия выбора промаха в момент встречи с целью. Для расчёта принята тяга ДПУ 40000 Н и двигатель выходит на эту тягу мгновенно и работает 0.6 с. Такой двигатель позволяет выбрать промах около 29 м для варианта конструкции, приведенной в примере. Таким образом, если конечный промах ракеты меньше 29 м, он полностью выбирается при включении ДПУ в соответствующий момент времени и ракета поражает цель со стопроцентной вероятностью. Если конечный промах ракеты больше 29 м, то вероятность поражения определяется разностью этих величин.

Результаты расчетов представлены в таблицах 3.2 и 3.3. Анализ полученных вариантов проводится при решении задачи принятия решения, изложенной ниже.

Для проверки результатов, полученных аналитически, было проведено имитационное моделирование системы изображенной на рис. 2.7, в которой маневр цели – змейка с перегрузкой 15 g и случайным временем начала маневра, равномерно распределенным по периоду самонаведения; эффект фединга учтен в системе добавлением белого шума в значение промаха со

спектральной плотностью $1.5 \text{ м}^2/\text{Гц}$.

Результаты реализации задачи №1.

Табл. 3.2

	R_0	$R_{\text{ДПУ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГСН}}$	$R_{\text{ГБ}}$	R_{T}
Время самонаведения (с)	1.6	1.66	1.66	2.65	2.75	1.55
Дисперсия промаха (линеаризов. модель, ковариационный анализ) (м)	17.57	14.83 <small>Без учета ДПУ</small>	16.98	12.74	12.56	15.66
R606 (м)	7.9	7.9	12.6	7.9	11.9	7.9
Скорость полёта на момент начала самонаведения (м/с)	1611	1548	1551	1389	1345	1702
Время перехвата (с)	14.5	14.9	14.9	14.7	15.0	14.1
Вероятность поражения цели	0.41	0.95	0.59	0.52	0.68	0.45
Наклонная дальность (км)	11349	10982	10987	11152	10937	11614
Средняя скорость полёта (м/с)	782	732	733	755	726	821

Результаты реализации задачи №2.

Табл. 3.3

	R_0	$R_{\text{ДПУ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГСН}}$	$R_{\text{ГБ}}$	R_{T}
Время самонаведения (с)	4.65	4.74	4.74	6.85	6.99	4.28
Дисперсия промаха (линеаризов. модель, ковариационный анализ) (м)	13.51	12.67 <small>Без учета ДПУ</small>	13.74	13.83	14.49	15.55
R606 (м)	7.9	7.9	12.6	7.9	11.9	7.9
Скорость полёта на момент начала самонаведения (м/с)	708	679	676	727	697	835
Время перехвата (с)	43.52	45.4	45.51	44.3	45.7	40.91
Вероятность поражения цели	0.50	0.97	0.67	0.49	0.63	0.45
Наклонная дальность (км)	38597	37185	37160	38009	37014	40478
Средняя скорость полета (м/с)	886	817	816	857	810	988.4

По результатам 100 реализаций наведения варианта ракеты R_0 было получено значение математического ожидания промаха 0.93 м и среднеквадратичного отклонения 15.9 м.

Таким образом, результаты, полученные аналитически, лежат в 99%-м доверительном интервале значений, рассчитанных по статистике, набранной методом имитационного моделирования. Этот результат полностью соответствует выводам, полученными другими авторами [141, 142, 143].

3.3 Принятие решения

Для принятия решения о выборе оптимальной альтернативы для решения поставленных целевых задач предлагается использовать аддитивную функцию ценности в виде (1.11)

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j), \quad \sum_{j=1}^n k_j = 1,$$

характеристиками которой являются критерии $X_j, j = 1..n$ (в литературе они же называются атрибутами и/или факторами). Для оценки альтернативных вариантов выбраны три критерия:

- вероятность поражения цели ($W_{ц}$);
- дальность перехвата ($l_{пер}$);
- стартовая масса (m_0).

Значения критериев как аргументов функции ценности получены моделированием перехвата цели каждым из вариантов ракеты для двух типовых задач применения. Из таблиц 3.2 и 3.3 выделены интересующие нас строки и сформированы таблицы 3.4 и 3.5 .

Задача 1

Табл. 3.4

	R_0	$R_{\text{ДПУ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГСН}}$	$R_{\text{ГБ}}$	$R_{\text{Т}}$
$W_{\text{Ц}}$	0.41	0.95	0.59	0.52	0.68	0.45
$l_{\text{пер}}, \text{М}$	11349	10982	10987	11152	10937	11614
$m_0, \text{кг}$	401	444	443	414	443.6	444.3

Задача 2

Табл. 3.5

	R_0	$R_{\text{ДПУ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГСН}}$	$R_{\text{ГБ}}$	$R_{\text{Т}}$
$W_{\text{Ц}}$	0.50	0.97	0.67	0.49	0.63	0.45
$l_{\text{пер}}, \text{М}$	38597	37185	37160	38009	37014	40478
$m_0, \text{кг}$	401	444	443	414	443.6	444.3

Функция (1.11) дает числовую характеристику, определяющую степень пригодности взятого вариантов конструкции с точки зрения ЛПР для выполнения задачи, в интересах которой решается задача принятия решения.

Помимо этого ЛПР имеет функции ценности $v_j(x_j)$ для каждого критерия X_j , которые описывают перевод значений критерия x_j в значение ценности этого значения для ЛПР. Значения критериев x_j для каждой из предложенных альтернатив характеризуют способность альтернативного варианта конструкции БЛА выполнять основную задачу, ради которой принимается решение выбора - поражение цели. В процессе обlikового проектирования каждый атрибут x_j сам является критерием, оптимизируемым в рамках генерации альтернативы. Однако влияние на конечный результат атрибуты – характеристики альтернативных проектов БЛА – имеют разное.

Для такой постановки начальных условий необходима оценка масштабирующих коэффициентов, определяющих вклад каждого из критерия в решение главной задачи. Эта оценка может быть произведена

путем экспертного парного сравнения значимости характеристик, как предложено в методе анализа иерархий (МАИ) или методом «раскаченных весов» (swing weights) [74].

Выполнение каждой из задач определяется значениями критериев. Рассмотрим вопрос независимости по разности используемых критериев. Согласно методике предложенной в [80] зафиксируем критерии дальность перехвата и вероятность поражения на наихудших значениях – 10982 м и 0.41, соответственно, и проверим предпочтения по стартовой массе ракеты. Стартовая масса отражает связь ЛА с пусковым комплексом и приближенно характеризует стоимость ракеты [25]. Это должно влиять на предпочтения ЛПР при различных вероятностях поражения, т.к. естественно, чем меньше вероятность поражения одной ракеты, тем больше ракет потребуется для поражения цели. Таким образом, если мы считаем стартовую массу независимой по разности от вероятности поражения, мы пренебрегаем учетом связи массы со стоимостью ЛА.

Теперь зафиксируем дальность перехвата и стартовую массу на наихудших значениях – 10982 м и 444.3 кг, соответственно. Также далее будем считать, что для ЛПР масса ракеты отражает только предпочтения, относящиеся к стартовой установке. В общем случае, чем меньше дальность перехвата, тем больше риски для обороняемого объекта. С точки зрения предпочтений при максимальной и минимальной дальности поражения отношение ЛПР к вероятности поражения может меняться и на малой дальности поражения желательно иметь более высокие значения вероятности поражения.

Таким образом, для соблюдения условия независимости по разности выбранных критериев следует пренебречь следующими зависимостями:

1. стартовая масса ракеты и вероятность поражения цели;
2. дальность поражения цели и вероятность поражения цели одной ракетой.

Заметим, что для базовых задач 1-2 диапазон средних скоростей и дальности поражения значительно разнятся и, т.к. задачи сформулированы с точки зрения поражения типовых целей одной ракетой, то логично предложить допущение, что оценки ЛПР критериев при рассмотрении определенной задачи не только различаются, но и не зависят друг от друга. Поэтому решение задачи поражения цели предлагается представить в виде суммы событий выполнения задач 1 или 2 с соответствующими вероятностями появления целей, предлагаемых для поражения в типовых задачах. Вероятности появления той или иной типовой цели могут быть получены моделированием системы более высокого уровня (системы ВКО) или оценкой со стороны экспертов.

Такого рода рассуждения позволяют представить принятие решения о выборе оптимального варианта ЛА на основе следующей зависимости:

$$v(x) = \sum_{i=1}^m \varphi_i \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j), \quad (3.2)$$

где φ_i , ($\sum_{i=1}^m \varphi_i = 1$) – весовой коэффициент важности события (задачи), нормализованный в диапазоне 0–1.

Для целей настоящей работы мы считаем функции ценности критериев заданными для каждой типовой задачи. Они приведены в табл. 3.6 и 3.7.

Задача 1

Таблица 3.6

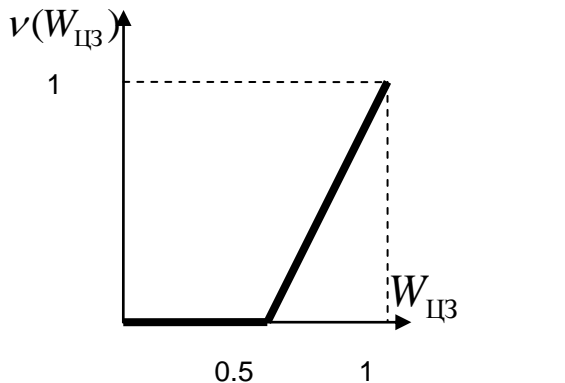
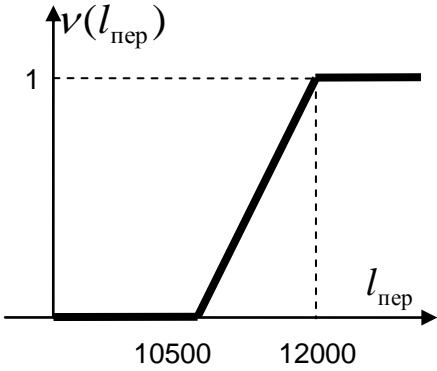
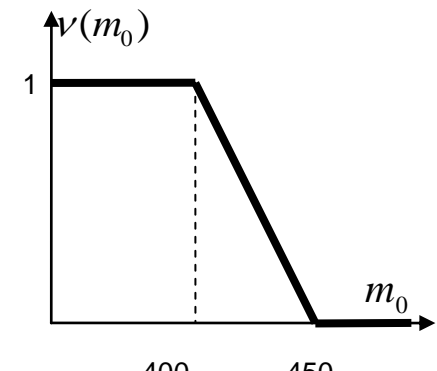
Графическое представление	Аналитическое представление
	$v_w^1(W_{ЦЗ}) = \begin{cases} 0, & W_{ЦЗ} \leq 0.5 \\ 2 \times W_{ЦЗ} - 1, & 0.5 < W_{ЦЗ} \leq 1.0 \end{cases}$

Таблица 3.6 (продолжение)

Графическое представление	Аналитическое представление
	$\nu_t^1(l_{\text{пер}}) = \begin{cases} 0, & l_{\text{пер}} \leq 10500 \\ l_{\text{пер}} / 1500 - 7, & 10500 < l_{\text{пер}} \leq 12000 \\ 1, & l_{\text{пер}} > 12000 \end{cases}$
	$\nu_m^1(m_0) = \begin{cases} 1, & m_0 \leq 400 \\ -0.02 \times m_0 + 9, & 400 < m_0 \leq 450 \\ 0, & m_0 > 450 \end{cases}$

Задача 2

Таблица 3.7

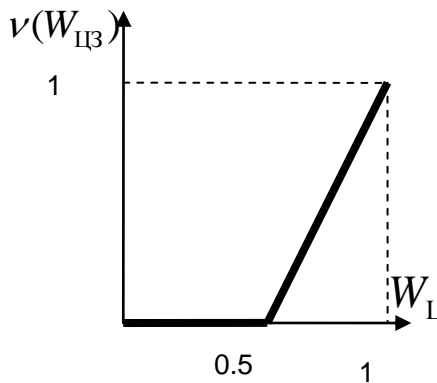
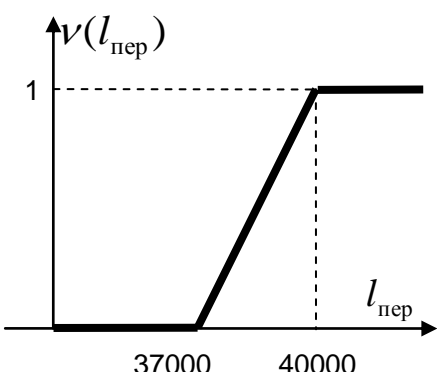
Графическое представление	Аналитическое представление
	$\nu_w^2(W_{\text{ЦЗ}}) = \begin{cases} 0, & W_{\text{ЦЗ}} \leq 0.5 \\ 2 \times W_{\text{ЦЗ}} - 1, & 0.5 < W_{\text{ЦЗ}} \leq 1.0 \end{cases}$
	$\nu_t^2(l_{\text{пер}}) = \begin{cases} 0, & l_{\text{пер}} \leq 37000 \\ l_{\text{пер}} / 3000 - 12 \frac{1}{3}, & 37000 < l_{\text{пер}} \leq 40000 \\ 1, & l_{\text{пер}} > 40000 \end{cases}$

Таблица 3.7 (продолжение)

Графическое представление	Аналитическое представление
	$v_m^2(m_0) = \begin{cases} 1, & m_0 \leq 400 \\ -0.02 \times m_0 + 9, & 400 < m_0 \leq 450 \\ 0, & m_0 > 450 \end{cases}$

Для выполнения каждой из рассматриваемой задачи важность критериев неодинаковая и определяется весовыми коэффициентами k_j , $\sum_{j=1}^n k_j = 1$.

Будем полагать, что значимость критериев не зависит от условий применения ракеты и они находятся методом парного сравнения. Полученные значения k_j приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8

	$W_{ЦЗ}$	$l_{пер}, \text{М}$	$m_0, \text{КГ}$
k_j	0.73	0.19	0.08

Далее, подставляя значения критериев, получаем значения ценностей для рассматриваемых альтернатив в двух вариантах применения (табл.3.9).

Таблица 3.9

	Задача 1	Задача 2
R_0	0.19	0.18
$R_{ДПУ}$	0.73	0.71
$R_{БЧ}$	0.20	0.27
$R_{ГСН}$	0.17	0.12
$R_{ГБ}$	0.33	0.20
R_T	0.15	0.20

Положим, что в результате моделирования системы более высокого уровня или в результате экспертной оценки было определено, что вероятность появления цели, подобной описываемой в условиях задач составляет значения, приведенные в табл. 3.10

Таблица 3.10

Задача 1	Задача 2
0.7	0.3

Теперь для каждой альтернативы можно посчитать полезность по формуле

$$\begin{aligned}
 v(a_i) = & 0.7 \times (0.73 \times v_w^1(W_{ЦЗ}) + 0.19 \times v_l^1(l_{пер}) + 0.08 \times v_m^1(m_0)) + \\
 & + 0.3 \times (0.73 \times v_w^2(W_{ЦЗ}) + 0.19 \times v_l^2(l_{пер}) + 0.08 \times v_m^2(m_0)) \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 3.11

Таблица 3.11

a_i	R_0	$R_{ДПУ}$	$R_{БЧ}$	$R_{ГСН}$	$R_{ГБ}$	R_T
$v(a_i)$	0.184	0.722	0.224	0.155	0.290	0.163

Вариант $R_{ДПУ}$ превосходит все другие альтернативы. Заметим, что данная методика нахождения полезности вариантов обликового проектирования позволяет не только проранжировать предложенные альтернативы, но и определить степень превосходства одной ракеты над другой. Это особенно полезно при анализе требуемых инвестиций для реализации того или иного варианта конструкции. Таким образом, возможно получить некоторую новую ранжировку альтернатив по параметру количества полезности на единицу затраченных средств. Изложенный подход справедлив, если рассматривается сравнительно малый горизонт времени, т. к. расчет требуемых инвестиций для производства нового изделия базируется на текущем уровне цен на материалы, комплектующих и оборудование,

определяющих технологический уровень изготавливаемого изделия и возможности использования инновационных конструкторских решений, а также на текущем понимании рисков, связанных с освоением новой продукции. С учетом фактора значительного времени, требуемого на разработку и постановку на производство новых БЛА, целесообразно рассматривать стоимость как ограничительный фактор, а в качестве задачи, в интересах которой происходит принятие решения, должны быть рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть перед системой более высокого уровня в будущем на основе прогнозов и мнений специалистов. Таким образом, значительные вложения сегодняшнего дня в новое качество изделия приведут к решению задач, которые только обозначились, но с большой вероятностью возникнут в будущем.

В примере использовалась функция ценности на основе трех параметров. В равной степени могло бы быть использовано большее количество критериев, подробно описывающих вариант ЗУР, при условии, что можно полагать их независимость по разности. Оценка технически сложных изделий при помощи многопараметрической функции ценности мы считаем весьма перспективным и универсальным методом, поскольку этот подход применим как со стороны производителя, так и со стороны покупателя, а также он не ограничен заранее заданным набором альтернатив, для которых требуется получить суждение (в отличие от метода анализа иерархий). Метод требует лишь предварительного задания функций ценности одного аргумента для выбранных критериев оценки системы и определения весовых коэффициентов этих критериев.

3.4 Определение весовых (масштабирующих) коэффициентов критериев в функции ценности.

В настоящей работе для определения масштабирующих или весовых коэффициентов, используемых в функции ценности (1.11), был использован

метод парных сравнений. На наш взгляд, данный метод, на сегодняшний день является наиболее распространенным или, по крайней мере, наиболее часто упоминаемый в российской литературе. В статье [172] приводится классификация методов, где на первом месте стоит семейство способов получения весовых коэффициентов, использующих методику парного сравнения. В отдельную категорию выделяются методы, вычисляющие веса критериев на основе аналитических взаимосвязей важности критериев оценки альтернатив.

Третья категория методов – так называемые – формальные методы. Часто встречающийся в иностранной литературе метод «раскаченных весов» (swing weights) [74] относится к этой категории и является модификацией метода Черчмена-Акоффа.

Вне зависимости от используемого метода весовые коэффициенты имеют вполне конкретную интерпретацию. Так были рассмотрены различные сценарии применения ракеты, для исследования устойчивости решения по выбору облика ЗУР. Эти сценарии сведены в табл. 3.12 вместе со значениями весовых коэффициентов для построенной функции ценности (3.2).

Табл. 3.12

	Операция	Сценарий	φ_1	φ_2	k_1	k_2	k_3
1.	«Локальный конфликт»	Весьма вероятно появление низколетящей маневрирующей цели, которую не следует допускать к обороняемому объекту.	0.7	0.3	0.73	0.19	0.08
2.	«Полно-масштабный конфликт»	Равновероятно появления низколетящей маневрирующей и баллистической цели, которую надо уничтожить возможно дальше от обороняемого объекта.	0.5	0.5	0.6	0.3	0.1
3.	Особые требования обороняемого объекта	Весьма вероятно появление баллистической цели. Длину ракеты требуется минимизировать.	0.3	0.7	0.6	0.1	0.3

Принятие конечного решения по выбору облика ракеты существенным образом зависит от выбранных коэффициентов. В рассмотренном выше примере, во всех сценариях применения вариант ракеты с двигателем поперечного управления получает самый лучший счет, однако порядок обликов в ранжировке предпочтений меняется (см. табл. 3.13).

Табл. 3.13

1.	a_i	$R_{\text{ДПУ}}$	$R_{\text{ГБ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	R_0	R_{T}	$R_{\text{ГСН}}$
	$\nu(a_i)$	0.722	0.290	0.224	0.184	0.163	0.155
2.	a_i	$R_{\text{ДПУ}}$	R_{T}	R_0	$R_{\text{ГБ}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГСН}}$
	$\nu(a_i)$	0.621	0.273	0.263	0.243	0.227	0.2
3.	a_i	$R_{\text{ДПУ}}$	R_0	$R_{\text{ГСН}}$	$R_{\text{БЧ}}$	$R_{\text{ГБ}}$	R_{T}
	$\nu(a_i)$	0.607	0.348	0.26	0.231	0.221	0.126

В следующем кратком примере по выбору лучшего облика ЗУР по данным из статьи [62] с использованием МФЦ, были предложены следующие значения весовых коэффициентов и их интерпретация.

Для начала данные в описание обликов были разделены на две категории – параметры, описывающие возможность ракеты по выполнению операции, и характеризующие конструкцию ракеты, табл. 3.14.

Затем, предполагая допущения первого примера для обеспечения независимости по разности критериев, а также считая, что функции ценности для каждого критерия заданы, была построена функция ценности (3.4).

Табл. 3.14

Параметр		Зенитная ракетная система (страна, разработчик)		
		"Patriot PAC-3" (США, "Рейтеон")	SAMP T/N (Франция, "Талес")	"Триумф" (Россия, НПО "Алмаз")
		"Эринт" ("Лорал")	"Астер" ("Аероспасиаль")	9M96E2 (МКБ "Факел")
Возможность ракеты по выполнению операции	Аэродинамические цели: дальность, км	100	70... 100	120
	высота, км	0.06-25	25	0.005-30
Характеристика конструкции ракеты	Баллистические цели: дальность, км	22.... 40	35	30
	высота, км	15...20	25	25
Характеристика конструкции ракеты	Стартовая масса, кг:	315	460	420
	ЗУР			

$$\begin{aligned}
 v(a_i) = & \varphi_{\text{констр}} \times v_m(m_0) + \\
 & + \varphi_{\text{опер}} \times (k_1 \times v_l^{\text{аэп}}(l_{\text{аэр пер}}) + k_2 \times v_h^{\text{аэп}}(h_{\text{аэр пер}}) + \\
 & + k_3 \times v_l^{\text{бал}}(l_{\text{бал пер}}) + k_4 \times v_h^{\text{бал}}(h_{\text{бал пер}}))
 \end{aligned} \quad (3.4)$$

В формуле (3.4) весовые коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 отражают предположения или данные ЛПР о вероятности появления аэродинамической и баллистической целей. Придавая разный вес операционным возможностям ракеты $\varphi_{\text{опер}}$ по сравнению с конструктивными $\varphi_{\text{констр}}$, ЛПР имеет возможность исследовать предпочтительность систем ЗУР, табл. 3.15.

Табл. 3.15

	"Эринт" ("Лорал")	"Астер" ("Аероспасиаль")	9M96E2 (МКБ "Факел")
Конструктивный параметр 0.3, Операционный параметр 0.7	0.52	0.28	0.39
Конструктивный параметр 0.1, Операционный параметр 0.9	0.40	0.34	0.42

Из этого краткого обсуждения видно, что в выборе весовых коэффициентов, используемых в МФЦ, присутствует изрядная доля субъективизма, применение которого является правом ЛПР. Исследователи процедур и методов принятия решения всякий раз подчеркивают этот факт и постоянно ищут методики снижения субъективности при выборе наилучшей альтернативы. Одним таких методов является «метод уверенных суждений» [173].

3.5 Сравнение результатов метода функций ценности с отдельными методами принятия решения.

Наряду с проведенным ранее качественным анализом применяемых методов принятия решения для слабоструктурированных задач, приведем результат применения некоторых других методов.

Метод уступок – относящийся к прямым методам - не требует большого количества сторонней информации и использует известные ранги критериев принятия решения. В качестве дополнительной информации предположим, что любая цель из задачи 1 и 2 может быть обстреляна двумя ракетами, при этом результирующая вероятность поражения не должна быть ниже 0.9.

По методу уступок выбираем альтернативу с максимальным значением главного критерия (вероятность поражения) и определяем, что уменьшение вероятности поражения ракеты не может быть меньше 0.67. Таким образом, для оптимизации по второму критерию (дальность поражения) следует выбрать $R_{дпу}$ или $R_{гб}$ в задаче 1 и $R_{дпу}$ или $R_{бч}$ в задаче 2. С точки зрения дальности поражения вариант $R_{дпу}$ - более предпочтителен. И на этом задачу поиска оптимальной альтернативы можно считать решенной.

Полученные результаты в целом совпадают с решением по МФЦ. Однако альтернативы не упорядочиваются по своей предпочтительности для ЛПР для решения поставленных целевых задач. Еще одним недостатком полученного решения, характерным для большинства эвристических

методов, является зависимость конечного результата от параметров метода, которыми пользуется ЛПР в процессе решения. Так, если при оптимизации по критерию номер два (дальность поражения) уступка даже 100 м является допустимой, то с формальной точки зрения для решения задачи 1 более предпочтительным является вариант $R_{ГБ}$, а для решения задачи 2 вариант $R_{БЧ}$, как имеющий меньшую начальную массу.

Решение многокритериальной задачи принятия решения на основе формирования *множества Парето*. Альтернатива принадлежит Парето-оптимальному множеству, если результат выполнения целевой задачи не может быть улучшен при переходе к другой альтернативе без ухудшения хотя бы одного критерия. Очень часто исследователи бездоказательно полагают, что оптимальное решение должно принадлежать множеству Парето. Это соответствует действительности, если предпочтения ЛПР удовлетворяют свойства транзитивности для альтернатив, а критерии удовлетворяют свойству аналогичного свойству независимости по разности, введенному ранее [171].

В условиях рассмотренного примера эти свойства выполняются при учете ограничений, сформулированных в п.3.3, и, обзревая альтернативы, можно предположить, что оптимальный вариант будет один из следующих трех - R_0 , $R_{ДПУ}$, или R_T .

Для проверки этой гипотезы воспользуемся методом ELECTRE, учитывающего различные веса критериев. При назначении индекса согласия 0.8 и индекса несогласия 0.2, в задаче 1 мы получили две альтернативы в множестве Парето – $R_{ДПУ}$ и $R_{БЧ}$; в задаче 2 решение одно – $R_{ДПУ}$. При увеличении индекса согласия до 0.85, множество Парето альтернатив для решения задач 1 и 2 будет включать $R_{ДПУ}$, $R_{ГСН}$, $R_{ГБ}$ и R_T .

Наилучшая альтернатива в методе уступок и ELECTRE совпадают – $R_{ДПУ}$. При этом решение задачи упорядочивания остальных альтернатив по

предпочтению требует применения дополнительных методов по согласованию. Отметим, также большую зависимость получаемых результатов в методе ELECTRE от назначаемых индексов и шкал критериев.

Основные выводы и результаты

1. Предложена содержательная основа понятия «проектная конкурентоспособность» продукции ОПК РФ в виде совокупности ее свойств, разделенных на три категории показателей:

- * потребительская полезность (спектр характеристик, определяющих выполнение целевых задач);

- * экономические характеристики (цена, затраты на эксплуатацию и утилизацию);

- * неценовые характеристики (условия купли-продажи, условия сервиса, реклама, имидж).

2. В интересах обеспечения конкурентоспособности создаваемых ЗУР предложена оригинальная методика обlikового проектирования зенитных управляемых ракет, использующая функцию ценности ЗУР как современного высокоточного оружия. Методика состоит из трех этапов.

- * Этап формирования конкурентных преимуществ альтернативных вариантов предварительных обlikов ЗУР. Эти варианты, выступая в качестве системообразующих элементов, формируют поле возможных решений.

- * Расчет целевых критериев функционирования для оценки соответствия результатов функционирования требованиям целевой задачи.

- * Выбора конкурентоспособного варианта ЗУР (из числа альтернативных) на основе применения теории полезности.

Предложенная методика отражает современную общественно-экономическую формацию, центром которой являются рыночные отношения

производителя и потребителя новой техники.

3. Для оценки технико-экономических возможностей новой техники предложено использовать метод многопараметрических функций ценности. При этом одновременно обеспечивается решение задачи о выборе рационального варианта из среды альтернативных проектных решений. Метод может быть применен в автоматических системах принятия решения, поскольку не имеет ограничения, характерного для широко распространенного метода анализа иерархий, позволяющего ранжировать только заранее известный набор альтернатив. Новый подход дает возможность вырабатывать суждения «на лету», как только становятся известны значения критериев оценки вариантов.

4. В качестве рабочего инструмента оценки эффективности ЗУР предложено использовать метод ковариационного анализа.

5. Для оценки полезности ЗУР предложена многофакторная модель, отражающая три критерия ЗУР: целевую эффективность, дальность перехвата и начальную массу. Модель позволяет оценить большое количество альтернатив со значительным числом критериев и обосновать выбор проекта на стадии обликвого проектирования, который должен стать основой для дальнейших разработок.

Литература

1. Проектирование самолетов / Под ред. Егера С.М. 4-е издание – Москва Логос, 2005, 646с.
2. Мировая экономика: прогноз до 2020 года. Под ред. Акад. А.А. Дынкина ИМЭМО РАН, Москва, Магистр, 2008, 429с.
3. Барковский В.И., Скопец Г.М., Степанов В.Д. Методология формирования экспортно-ориентированных авиационных комплексов. /Под ред. В.И. Барковского. Москва, Физматлит, 2008, 244 с.
4. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. /П.П. Афанасьев, С.Б. Левочкин и др. /Под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. - 3-е изд. испр. и доп. - М.: 2010. - 654с.
5. Левочкин С.Б., Светлов В.Г. Оценка технического совершенства зенитных ракет. М.: Журн. «Полет», № 1, 2004.
6. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов. Учебник под ред. И.С. Голубева и Ю.И. Янкевича. - М.: Изд-во МАИ, 2006. - 528 с.
7. Павлюк Ю.С. Баллистическое проектирование ракет: Учебное пособие для вузов. — Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1996. — 92 с.
8. Светлов В.Г. Машиностроительное конструкторское бюро «Факел» имени академика П.Д. Грушина. В книге Ракеты «Факела». - М.: «Глория - Арт». 2003.-239 с.
9. Тарасов Е.В., Балык В.М. Методы проектирования летательных аппаратов. - М: Изд. МАИ, 2000. - 324 с.
10. Чернобровкин Л.С. Аэродинамическая компоновка ЛА. Баллистическое проектирование. –М.: Изд. МАИ, 1988. -73 с.
11. Климов С. Компоненты человеческого капитала <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/2006/1932> 23 августа 2013 г.

12. <http://economuch.com/menedjment-obschie-voprosyi/mehanizmyi-regulirovaniya-ryinochnoy.html> 8 августа 2013 г.
13. Duncan W.J. Ginter P.M. Swayne L.S. Competitive advantage and internal organizational assessment Academy of Management Executive, 1998, Vol. 12, No. 3 pp 6-15
14. <http://engine.aviaport.ru/issues/60/page08.html> 8 августа 2013 г.
15. <http://www.forbes.ru/mneniya-column/gosplan/233788-pochemu-padayut-rakety> 11 августа 2013 г.
16. [http://www.sds-vr.ru/f/files/MVK/3\(18\)2008/mayanskyi.pdf](http://www.sds-vr.ru/f/files/MVK/3(18)2008/mayanskyi.pdf) 11 августа 2013 г.
17. Круглый стол «Практические аспекты кадровой политики России. Развитие науки и высоких технологий в условиях дефицита кадровых и материальных ресурсов» http://www.csr-nw.ru/upload/file_category_1088.pdf 11 августа 2013 г.
18. Бурикова И. С., Коновалова М. А., Пушкина М. А., Юрьев А. И Опыт психологического измерения человеческого капитала Монография. СПб.: 2009. [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. URL: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/3251> 2 августа 2013
19. World Bank (1998), Knowledge for Development World Development Report. New York: Oxford University Press.
20. Алексеева С.А. Экономика знаний и человеческий капитал / С.А. Алексеева // Обучение иностранным языкам: от профессионализации к профессионализму. Материалы научно-методического межвузовского семинара 11 ноября 2009 г. - М.: МГИМО-Университет, 2010.
21. http://www.minpromtorg.gov.ru/posit/minprom/ministry/fcp/10/GP_tekst_na_sajt.pdf 11 августа 2013 г.
22. Интрилигейтор М.Д. Брагинский С., Швыдко В., Развитие секторов, базирующихся на потенциале человеческого капитала: шанс возрождения экономики России?

http://www.inspp.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=77&Itemid=

[0](#) 11 августа 2013 г.

23. vpk-news.ru/articles/6864 11 августа 2013 г.

24. chelt.ru/2004/12-04/nikolaev_12-04.html 11 августа 2013 г.

25. Левочкин С.Б. Теоретические и практические основы конкурентоспособности летательных аппаратов под ред Голубева И.С. Москва Экслибрис-Пресс ООО 448с. ил.

26. Davenport T.H., Prusak L. Working knowledge: how organizations manage what they know. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press, 1998. 199 p.

27. 12 Sources of Sustainable Competitive Advantage in Business <http://www.strategicbusinessteam.com/strategic-small-business-planning/12-sources-of-sustainable-competitive-advantage-in-business/> 2 августа 2013 г.

28. Головкин М. Проекты ИС для крупных предприятий: от бессистемного управления к системам управления знаниями. Директор Информационной Службы <http://www.osp.ru/cio/2000/04/170834/> 2 августа 2013 г.

29. Бойцов Б.В., Кузнецов М.А., Элькин Г. И. Концепция качества жизни: проблемы в глобальном региональном измерениях: - М.: Академия проблем качества. 2009. – 184с.

30. Вендров А.М. CFSE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем – http://www.citforum.ru/database/case/glava2_1.shtml 6 августа 2013

31. Буч Г. И др. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. -3-е изд. – М.: ООО «Н.Д. Вильямс», 2008. – 720с.

32. Гаврилова Т.А. Онтологический инжиниринг http://bigc.ru/publications/bigspb/km/ontolog_engineering.php 6 августа 2013 г.

33. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%EA%EE%ED%EE%EC%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF_%F1%E8%F1%F2%E5%EC%E0 11 августа 2013 г.

34. История развития САПР http://ogti.orskportal.ru/doc/istor_sapr.pdf 1 августа 2013

35. Портер Е. Майкл Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов/Пер. англ. -М.:Альпина Бизнес Букс. 2005.-454с.
36. Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособностью организации: учеб. пособие/ Р. А. Фатхутдинов. – М.: Эксмо, 2004. – 270 с.
37. Парамонова Т.Н. Расчет конкурентоспособности товара http://www.elitarium.ru/2010/11/12/raschet_konkurentosposobnosti_tovara.html
29 июля 2013
38. PEST market Analysis Tool. http://www.practical-entrepreneurship.com/resources/marketing/172_pest_analysis.pdf 24 декабря 2010
39. Downey, J. “Strategic analysis tools.” The Chartered Institute of Management Accountants
http://www.cimaglobal.com/Documents/ImportedDocuments/cid_tg_strategic_analysis_tools_nov07.pdf.pdf 24 декабря 2010
40. “Porters 5 Forces” <http://www.themanager.org/pdf/p5f.pdf> 27 декабря 2010
41. Porter, M.E. 1985 Competitive Advantage; Creating and Sustaining Superior Performance, Free Press, New York, 557 с.
42. Datta, Y. “A critique of Porter’s cost leadership and differentiation strategies.” http://www.gcbe.us/2009_ОБЕС/data/Michael%20Porter,%20Y.%20Datta,%20Emeritus.doc 11 января 2011
43. Портер М, Кетелс К. Конкурентоспособность на распутье: направления развития российской экономики/Центр стратегических разработок, 2007. - http://sp-ved.narod.ru/MATERS/PORTER_RFstrategy.pdf 28 марта 2013 г.
44. Лукьянов Н.А. Конкурентные стратегии в менеджменте/Учебное издание Томск, Томский политехнический Университет, 2009 100с.
45. Валькман Ю.Р. Исследовательское проектирование сложных объектов: от моделей жизненных циклов к с-технологиям Программные продукты и системы <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=864> 11 августа 2013 г.

46. Раков Д.Л. Применение методики структурного синтеза для формирования облика перспективных летательных аппаратов. // Вестник московского авиационного института, Т2. Том 6. 1999. – с.15-22.
47. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. - М.: Экономика, 2010. - 255 с.
48. Голубев И.С., Светлов В.Г Проектирование зенитных управляемых ракет. Издание второе. Москва МАИ 2001 732с.
49. Nicolai, L, Designing a better engineer; Aerospace America, pp. 30-46, April 1992.
50. Richard Blundell Consumer Behaviour: Theory and Empirical Evidence--A Survey The Economic Journal, Vol. 98, No. 389. (Mar., 1988), pp. 16-65.
51. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь. 1983. – 311с.
52. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009. -357с.
53. www.pseudology.org/colonels/war6generation/11.htm 11 августа 2013 г.
54. <http://vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=461&mid=2892&wversion=Staging> 11 августа 2013 г.
55. www.modernarmy.ru/article/163 11 августа 2013 г.
56. <http://vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=461&mid=2892&wversion=Staging> 11 августа 2013 г.
57. Попов В.А. Ударные БЛА США как эффективное дополнение к пилотируемым ударным самолетам в составе перспективных средств ВВС http://www.uav.ru/articles/US_UCAV_add.pdf 6 августа 2013 г.
58. <http://vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=492&mid=2893&wversion=Staging> 11 августа 2013 г.
59. <http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=543&mid=2869&wversion=Staging> 11 августа 2013 г.
60. <http://www.famhist.ru/famhist/chertok/006c7bce.htm> 11 августа 2013 г.

61. Усачев В. А., Голов Н. А., Кудрявцева Н. В. Перспективные технические решения и тенденции развития радиоэлектронных систем наведения для высокоточного оружия класса «Воздух-Поверхность» Наука и Образование <http://technomag.edu.ru/doc/245950.html> 21 июля 2013 г.
62. Болотов Е.Г., Мизрохи В.Я. Новое поколение зенитных управляемых ракет средней дальности http://pvo.guns.ru/book/fakel/new_gen.htm 21 июля 2013
63. Military Handbook: Missile Flight Simulation, (Part One), Surface-to-Air Missiles http://www.everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-1000-1299/MIL_HDBK_1211_2041/ 21 июля 2013
64. Мизрохи В.Я. Проектирование управления зенитных ракет Москва, Экслибрис-Пресс 2010 252с.
65. Афанасьев П.П. Голубев И.С. Левочкин С.Б. Новиков В.Н. Парафесь С.Г. Пестов М.Д. Туркин И.К. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. 3-е издание, Москва, МАИ, 654с.: ил.
66. Голубев И.С., Самарин А.В. Проектирование конструкций летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1991. -512с.
67. Основы проектирования ракет класса «воздух-воздух» и авиационных катапультных установок для них. / Под ред. Нестерова В.А. – М.: МАИ 1999
68. Пестов М.Д. Баллистическое проектирование и расчет массы ЛА с использованием учебной САПР. –М.: МАИ 1985
69. Афанасьев П.П., Вититин В.Ф., Голубев И.С. Оценка качества машиностроительной продукции. М.: Изд-во МАИ, 1995. - 76 с
70. Голубев И.С., Левочкин СБ. Грани качества и конкурентоспособности летательных аппаратов. - М, 2008. - 224 с.
71. Голубев И.С., Левочкин С.Б. Содержательная основа проектной конкурентоспособности ЛА. Журн. Вестник МАИ, № 1, 2010, с. 88-96.
72. Голубев И.С., Парафесь СГ Экспертиза проектов летательных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 1996. - 100 с.
73. rudocs.exdat.com/docs/index-77860.html 13 августа 2013 г.

74. Von Winterfeldt D., Edwards W. Decision analysis and behavioral research. - Cambridge [Cambridgeshire] ; New York: Cambridge University Press, 1986.-604.
75. Krantz, D.H., Luce, R.C., Suppes, P. & Tversky, A. 1971. Foundations of measurement. Academic Press, San Diego.
76. Dyer, J.S. Sarin, R.K. 1979. Measurable multiattribute value functions. Operations Research 27(4): 811-822.
77. Кини Р.Л., Райфа Х., Принятие решение при многих критериях: предпочтения и замещения: пер. с англ./Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.:Радио и связь, 1981. – 560 с.,ил.
78. E. M. Johnson G. P. Huber, “The technology of Utility Assessment,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 7, no. 5, pp. 311–325, 1977
79. Seppala, J. (2003). Life Cycle Impact Assessment Based on Decision Analysis. Systems Analysis Laboratory Research Reports. Hilsinki University of Technology.
80. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений / О. И. Ларичев; [отв. ред. А. Б. Петровский]; Ин-т системного анализа РАН. - М.: Наука, 2006. - 181 с.
81. Hopkins, D. S. New Product Winners and Losers. Conference Board Report No. 773, 1980.
82. Cooper, R. G. New product success in industrial firms. Industrial Marketing Management 11 :2 15-223 (1982)
83. Booz, Allen & Hamilton. Management of New Products. New York: Booz, Allen & Hamilton, Inc., 1971
84. X. Sun , P. Meng , D. Boehnke , S. Lehner , P. D. Ciampa , V. Gollnick, E. Stumpf MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS TECHNIQUES IN AIRCRAFT CONCEPTUAL DESIGN PROCESS
http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/495.PDF 11 августа 2013 г.

85. Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs / ed. by Hudnell H.K. - New York: Springer, 2008. - xxii, 949 p.: ill. Linkov I., Steevens J. Chapter 35 Appendix A: Multi-Criteria Decision Analysis. p 815-830
86. Labreuche, C. Construction of a Choquet integral and the value functions without any commensurateness assumption in multi-criteria decision making. European Society of Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-LFA), Aix-les-Bains, France (2011)
87. Минпромторг России <http://www.minpromtorg.gov.ru/ministry/fcp/8> 10 августа 2013 г.
88. Шуваев М.А. Экономическая сущность понятий конкурентоспособности предприятия и продукции / М.А. Шуваев // Экономическое возрождение России. - 2010. - № 4 (26). - С. 62-68. (Перечень ВАК РФ).
89. Федосов А. Е. Полвека в авиации. Записки академика. М.: Дрофа, 2004. 400 с.
90. <http://voprosik.net/voennaya-promyshlennost-v-mire/> 10 августа 2013 г.
91. Буренок В.М., Ивлев. А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. – М.: Издательский дом «Граница», 2007. – 408 с., ил.
92. Михайлов А. Как строить ВКО в современных условиях <http://www.vko.ru/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=320&ItemID=393&mid=2892&wversion=Staging> 10 августа 2013 г.
93. Hitt M. A., Bierman L. et al. Direct and Moderating Effects of Human capital on Strategy and performance in professional Service Firms: A Resource-Based perspective // The Academy of Management Journal. 2001. № 44 (1). p. 13–28.
94. <http://army.lv/ru/pantsir-s1/699/17449> 11 августа 2013 г.
95. http://www.sovinformburo.com/news/detail/?item_id=5720&type=0 11 августа 2013 г.
96. <http://www.redstar.ru/index.php/component/k2/item/9786-prioritet-vko-trebovanie-vremeni> 11 августа 2013 г.

97. Противоракетная оборона: противостояние или сотрудничество? / под ред. А. Арбатова и В. Дворкина ; Моск. Центр Карнеги. — М. : Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2012. — 367 с.
98. Волков Е.Б., Мазинг Г.Ю., Сокольский В.Н., Твёрдотопливные ракеты Москва, Машиностроение, 1992, 288с. Ил.
99. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. (Изд. 3е) Москва, Воениздат, 1991, 343с.
100. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Под ред. Е.А. Федосова. - М.: Дрофа, 2001.-816 с.
101. Fleeman E.L., Technologies for Future Precision Strike Missile Systems. <http://www.cles-facil.fr/intranet/Documents/Documents%20Techniques/Manuels%20Fus%20A9es%20Exp%20A9riminales/guidage.PDF> 21 августа 2013 г.
102. Основы синтеза систем летательных аппаратов: Учебник / Лебедев А.А., Аджимуратов Г.Г. и др.; Под ред. А.А. Лебедева. Москва, МАИ, 1996, 444с.
103. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. -М.:Наука. 1978. 352 с
104. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И., Беспилотные летательные аппараты история, применение, угроза распространения и перспективы развития. НАУЧНЫЕ ЗАПИСКИ ПИР_ЦЕНТРА: НАЦИОНАЛЬНАЯ И ГЛОБАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2004, 2 (26)
105. Shell R.L., Hall E.L Handbook of Industrial Automation New York, Marcel Dekker, Inc., 2000. 887 p.
106. Противоракетная оборона: противостояние или сотрудничество? / под ред. А. Арбатова и В. Дворкина; Моск. Центр Карнеги. Москва, Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2012, 367 с.
107. Александров Н.Н., Козлов В.Д., Крючков Д.В. Конкуренция и конкурентоспособность: содержание понятий и история их становления. —

Нижний Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии государственной службы, 2004, 176 с.

108. Siouris, G.M., Missile guidance and control systems New York, Springer, 2004, 667 p.

109. Теория игр и экономическое поведение. фон Нейман Дж., О. Morgenштерн. Перев. с англ. под ред. и с доб. Н. Н. Воробьева. Москва, Наука, 1970, 708 с. Ил.

110. Fleeman E.L. Tactical missile design. Reston, American institute of aeronautics and astronautics, 2001, 268p.

111. Aerospace & Defense 2012 Industry Outlook Survey: Anticipating Consolidation. Targeting M&A. <http://www.kpmg.com/Ca/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/AandDIndustryOutlookSurveyFinal2012.pdf>

23 августа 2013 г.

112. Hazelrigg, G. "System Engineering: An Approach to Information-Based Design", Prentice Hall, NJ, 1996.

113. Голубев И. С., Протопопов В. И. Проектная конкурентоспособность авиа- и автотранспортных средств: Основы теории и практические приложения. Учеб. Пособие. Москва, МАИ, 2000, 200с. Ил.

114. Гусев А.Л., Денисенко А.К., Платунов В.С. Особенности военно-научных исследований по обоснованию концепций и обликов перспективных авиационных комплексов Военная Мысль 2007 № 8 август стр 49-53

115. Krugman P. (1994) Competitiveness: A Dangerous Obsession; Foreign Affairs; Vol. 73 Issue 2 стр 28-44

116. Вечканов Г.С., Вечканова Г.Р. Современная экономическая энциклопедия. – СПб., Издательство «Лань», 2002. –С.586.

117. Фатхутдинов, Р.А. Стратегический менеджмент : учебник / Р.А. Фатхутдинов. М. : Дело, 2005, 448 с.

118. Innovation in Aerospace and Defense <http://www.crai.com/uploadedFiles/Publications/innovation-in-aerospace-and-defense.pdf> 8 января 2014 г.

127. Von Neumann, J., and Morgenstern, O. (1944). Theory of games and economic behavior. Princeton University Press.
128. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПРОГРАММА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ «РАЗВИТИЕ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» на 2013–2025 годы http://www.minpromtorg.gov.ru/reposit/minprom/ministry/fcp/10/GP_RAP_V72.pdf 8 января 2014 г.
129. Szerb L., Terjesen S., Measuring the competitiveness of small business http://www1.kmu.unisg.ch/rencontres/Renc2010/Topics_2010/C/Rencontres_2010_Topic_C_Szerb_Terjesen_f.pdf 8 января 2014 г.
130. Porter, M (1980). Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors, New York: The Free Press, 396 с.
131. Porter, M. E. (1986). Competition in global industries. A conceptual framework. In M. E. Porter (Ed.), Competition in Global Industries (pp. 15-60). Boston: Harvard Business School Press
132. Porter, M. E. Competitive Advantage of Nations. — New York: Free Press, 1990 (2nd. ed. — New York: Free Press, 1998. — 896 p)
133. Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, 17(1), 99–120.
134. Truijens, O. (2003). "A Critical Review of the Resource-based View of the Firm," University of Amsterdam, Netherlands . Sprouts: Working Papers on Information Systems, 3(6). <http://sprouts.aisnet.org/146/1/2003-16.pdf> 8 января 2014
135. Zarchan, P., "Tactical and Strategic Missile Guidance," Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 239, AIAA Inc. Reston, VA, 2012, 1095 стр
136. Kailath, T., "Linear Systems," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1980. 682 стр.
137. Lin. Ching-Fang Modern navigation, guidance. and control processing Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1991 671 стр.

138. Paul Zarchan. "Representation of Realistic Evasive Maneuvers by the Use of Shaping Filters", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 2, No. 4 (1979), pp. 290-295
139. Ненарович Н.Э. Современные зенитные ракетные системы ПВО и нестратегической ПРО http://old.vko.ru/article.asp?pr_sign=archive.2001.3.0103_05 21августа 2014
140. Бобронников В. Т. и др. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов. Под ред. Красильщикова М. Н. – М., «Альянс», 2013 468 с.
141. Taylor J. H., Price C. F. Direct statistical analysis of missile guidance systems via CADET <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a013397.pdf> 21 августа 2014
142. Li-Bo Liang, Ya-Zhong Luo, Jin Zhang, Hai-Yang Li, Guo-Jin Tang Rendezvous-Phasing Errors Propagation Using Quasi-linearization Method. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2010 Toronto, Ontario, Canada 2-5 August 2010 p 976-988
143. Gelb A. and Warren R.S. "Direct Statistical Analysis of Nonlinear Systems: CADET", *AIAA Journal*, Vol. 11, No. 5 (1973), pp. 689-694.
144. Кравченко А.Ю., Смирнов С.С., Реулов Р.В., Хованов Д.Г. Роль научно-технического задела в инновационных процессах создания перспективного вооружения: проблемы и пути решения *Вооружение и экономика* № 4 (20) 2012 г. стр 41-55
145. ЗРС С-400 "Триумф" на МАКСе-2007 http://pvo.guns.ru/s400/maks07_s400.htm 21 августа 2014
146. Зенитный ракетный комплекс С-400 'Триумф' <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/s400/s400.shtml> 21августа 2014
147. Зенитный ракетный комплекс С-400 Триумф <http://informationuniverse.ukrainianforum.net/t2805-400> 21 сентября 2014

148. Редут (зенитный ракетный комплекс)
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Редут_\(зенитный_ракетный_комплекс\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Редут_(зенитный_ракетный_комплекс)) 21
сентября
149. <http://www.missiles.ru/9Vxxx.htm> 21 сентября 2014
150. Доронин В. В. Концепция развития системы проектирования и наземной отработки бортовой аппаратуры ракет в условиях перехода на инновационный путь развития. М.: Журн. «Полет», Юбилейный выпуск, 2014. Стр. 18-26
151. Broh, R. A. (1982) *Managing Quality for Higher Profits*. New York: McGraw-Hill, 200 стр.
152. Garvin, David A. "What Does 'Product Quality' Really Mean?" *MIT Sloan Management Review* 26, no. 1 (fall 1984), стр. 25-43.
153. Антология русского качества / под ред. Б.В. Бойцова, Ю.В. Крянева. 3-е изд., доп. М.: РИА «Стандарты и качество», 2000, 432 стр.
154. Салимова Т. А. Управление качеством: учеб. по специальности «Менеджмент организации», 2-е изд., стер., Москва, «ОмегаЛ», 2008, 414 стр.
155. Прохоров Ю.К. Управление качеством: Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2007. – 144 с.
156. Кривега Л. Д., Сухарева Е. В. Особенности становления нового мирового порядка Молодой ученый. — 2015. — №8. — С. 1232-1235.
157. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию Собрание Законодательства РФ. 1996. №15.
158. Кондратьев Н. Д. Мировое хозяйство и его конъюнктуры во время и после войны Вологда, Областное отделение Государственного издательства 1922. - 258с.
159. Львов Д. С., Глазьев С. Ю. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП, Экономика и математические методы. – 1986. – №5. – С. 793–804.

160. Ларичев О. И., Теория и методы принятия решений, а так же хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. - М.: Логос, 2000. 296 с : ил.
161. Голубев С. И. Рыночные характеристики летательного аппарата оборонно-промышленного комплекса Вестник московского авиационного института 2013, т. 20 №1. С. 220-227
162. Голубев С. И. Особенности рыночной среды оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации для производителей летательных аппаратов. Вестник московского авиационного института 2013, т. 20 №3. С. 220-228
163. Голубев С. И. Strategic Options for Russian Manufactures of Outdoor Power Equipment in the Medium - Long Term Perspective. (англ. яз.) Квалификационная работа MBA, Grenoble Graduate School of Business – GGSB (Гренобль, Франция) и Российская Академия Народного Хозяйства и Государственной Службы при Президенте РФ, 2011.
164. Голубев С. И. Принятие решений с использованием функций ценности при обликовом проектировании беспилотных летательных аппаратов. Вестник московского авиационного института 2013, т. 20 №4. С. 27-35
165. Голубев С. И. Методология формирования предварительного облика летательного аппарата оборонно-промышленного комплекса в современных рыночных условиях. "Авиация и космонавтика-2013", 12-я Международная конференция, Москва, МАИ, 12-15 ноября 2013 г.: тезисы докладов. - Санкт-Петербург: Мастерская печати, 2013. С. 534-536.
166. Голубев С. И. Расчёт вероятности поражения цели зенитной управляемой ракетой с использованием метода ковариационного анализа. Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Казань, ИЦРОН 2014. С. 15-20.

167. Буренок В.М. Эволюция и перспективы программно-целевого планирования развития системы вооружения Российской Федерации. Вооружение и экономика 2012 № 4 (20) с. 4-19
168. Simon H., Newell A. 1958 Heuristic Problem Solvoing: The Next Advance In Operations Research. Operations Research 6(1): 1-10
169. Ларичев О. И.. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979 с. 200.
170. Анич И., Ларичев О. И., Метод ЭЛЕКТРА и проблема ацикличности отношений альтернатив, Автомат. и телемех., 1996, выпуск 8, 108–118
171. Ногин В.Д. Принцип Эджворта-Парето в терминах нечеткой функции выбора, Журнал вычислительной математики и математической физики, 2006, т. 46, № 4, С. 582-591.
172. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 6. С. 267-287.
173. Малышев В.В., Пиявский С.А. Метод «уверенных суждений» при выборе многокритериальных решений // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2015. № 5. - С. 90-101.