

И.О.Артамонов, доктор технических наук

Р.А.Рябцев, кандидат технических наук

Методические основы структурно-параметрического синтеза системы противотанкового вооружения Сухопутных войск

Предложен методический подход к построению системы противотанкового вооружения Сухопутных войск, изложены структура комплекса математических моделей и показателей оценки эффективности применения противотанкового вооружения на основе структурно-параметрического синтеза сложных технических систем.

Анализ состояния методического обеспечения исследований процессов боевого применения противотанкового вооружения (ПТВ) показал, что для адекватного описания функционирования такой сложной организационно-технической системы, какой является ПТВ, действующее в составе метасистемы – общевойскового формирования СВ, необходима разработка комплекса математических моделей и методики многоуровневой оценки эффективности системы ПТВ СВ, функционирующей, в свою очередь, в составе межвидовой системы вооруженной борьбы на континентальных театрах военных действий.

Для исследования процессов функционирования основных подсистем комплексов ПТВ, органов и пунктов управления противотанковых, артиллерийских и общевойсковых формирований, а также для обеспечения исходной информацией моделей боевых действий, к настоящему времени разработаны достаточно точные физические и математические модели различных типов систем управления, прицельных комплексов, факторов поражающего действия БЧ различных типов и др. Получены и обработаны многочисленные экспериментальные и расчетные данные по:

- оценке поисковых и огневых возможностей комплексов ПТВ, помехоустойчивости и помехозащищенности информационных каналов и систем управления в различных условиях;

- функционированию машин управления; информационным аспектам управления огнем;
- движению ПТВ и целей;
- надежности и восстанавливаемости, эргономичности, обитаемости и освоенности образцов огневых средств и средств управления.

Однако некоторые из этих данных либо в принципе не могут быть использованы в существующих методиках оценки показателей эффективности применения ПТВ, либо используются в усеченном, а то и в искаженном виде (например, из обширной информации о законах распределения времени обнаружения и других этапов функционирования боевых единиц сторон, в моделях, как правило, используются лишь математические ожидания соответствующих случайных величин: в марковских моделях для расчета интенсивностей пуассоновских потоков, а в моделях динамики средних – усредненной по всем этапам скорострельности, вероятности доведения информации и т.д.), что не позволяет получить достоверные оценки этих показателей в различных условиях боевого применения ПТВ.

Использование в моделях боевых действий формирований СВ так называемых боевых потенциалов образцов вооружения (подразделений, частей и т.п.) приводит к неоправданному огрублению результатов и потере чувствительности моделей к измене-

нию характеристик боевых единиц. В то же время, непосредственное использование ТТХ каждой боевой единицы в моделях боевых действий крупных формирований, включающих тысячи таких единиц, требует очень больших вычислительных ресурсов и чрезвычайно трудоемко с точки зрения подготовки исходных данных, что существенно затрудняет использование таких моделей в решении оптимизационных задач. Очевидно имеется объективная необходимость в определении рационального уровня агрегации в такого рода моделях.

Таким образом, можно констатировать, что наметился определенный разрыв содержательных связей между результатами теоретических и экспериментальных исследований, посвященных все более усложняющимся элементам ПТВ, а также их формированиям (огневым средствам и средствам информационного обеспечения (ИО), с одной стороны, и имеющимся аппаратом моделирования боевых действий – с другой. Для устранения указанного разрыва необходима организация информационных связей между моделями оценки показателей основных функциональных свойств образцов ПТВ различных типов, результатами их экспериментальных исследований и моделями боевых действий как отдельных ПТ подразделений, так и моделями общевойскового боя. Используемые для этого методы должны обеспечивать преобразование результатов расчетно-экспериментальных исследований в форму, пригодную для

моделей боевых действий ПТ и общевойсковых формирований, с возможно меньшими искажениями стохастических свойств изучаемых процессов.

Для всесторонней оценки ПТВ и выбора рациональных вариантов построения системы противотанкового вооружения СВ необходима разработка комплекса математических моделей, включающего модели функционирования различных типов ПТВ в составе специализированных противотанковых и войсковых (бронетанковых, инженерных, специальных и др.) формирований СВ на всех этапах боевых действий, модели огневого боя, а также модель общевойскового боя для оценки вклада системы ПТВ в результаты боя (операции) части, соединения и объединения СВ в основных видах боевых действий, ведущихся в типовых для них ситуациях естественных внешних и искусственных помеховых условий. Обоснованный выбор рационального варианта построения системы ПТВ СВ невозможен без использования математического аппарата теории принятия решений, разработки комплекса математических моделей, доработки методик многокритериального выбора рациональных вариантов и методологии структурно-параметрического синтеза системы ПТВ СВ.

Существует много различных определений понятия «система» и, соответственно, классификаций типов систем, например, приведенная на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация типов систем

Более детальное исследование рассматриваемой системы позволяет определить ее как «недетерминированную (носящую вероятностный характер), полиэргатическую (группы людей – технические подсистемы), иерархическую многоуровневую (n-го порядка, по числу звеньев управления), сложную систему. Одними из важнейших свойств таких систем являются их целостность, единство, достигаемые посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий элементов системы и проявляющиеся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают – так называемое свойство эмерджентности (от англ. emerge – возникать, появляться). Эмерджентность – это принцип, противоположный редукционизму, который утверждает, что целое можно изучать, расчленив его на части и затем, определяя их свойства, определить свойства целого. Такой подход к рассматриваемой системе, в силу его простоты, довольно часто использовался, однако новые («сетевые») принципы управления, совершенствование технических средств как вооружения, так и средств моделирования сложных систем, позволяют отказаться от редукционизма в пользу изучения и использования эмерджентных свойств системы.

Для того чтобы любая система была устойчивой к воздействию внешних воздействий, она должна иметь устойчивую структуру. Выбор структуры практически определяет технический облик (параметры) как всей системы, так ее подсистем и элементов. От структуры зависит также способность системы к перераспределению функций в случае полного или частичного отхода отдельных элементов, а, следовательно, надежность и живучесть системы при заданных параметрах ее составных частей. Таким образом может быть сформулирована задача структурно-параметрического синтеза системы ПТВ СВ и разработана соответствующая методология.

Структурно-параметрический синтез – это процесс, в результате которого определяется

структура объекта и находятся значения параметров составляющих ее элементов (подсистем), таким образом, чтобы были удовлетворены условия задания на синтез (ТЗ, ТТЗ и т.п.).

Наиболее отработанными в настоящее время являются методы и модели структурно-параметрического синтеза отдельных объектов, технических систем или функционально законченных подсистем сложных технических систем (СТС). Наиболее заметных успехов в области создания алгоритмов структурно-параметрического синтеза отечественные специалисты добились при синтезировании электронных устройств, в перспективных системах автоматизированного проектирования (САПР), в схожих по назначению компьютерных технологиях (например, в CASE-системах (Computer-Aided System Engineering) и в CALS-технологиях (Computer Aided Logistic System)) [1-3].

В области, более близкой к созданию ВВСТ, известны работы Уфимского авиационного технического университета, посвященные структурно-параметрическому синтезу газотурбинных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов [4]. Структурно-параметрический синтез технически сложных образцов вооружения, таких как пушечно-ракетные комплексы СВ, ВМФ и ВВС, успешно реализуется в ОАО «КБП» [5, 6]. Аналогичные работы в области ракетного, управляемого противотанкового и зенитного вооружения СВ ведутся и в ОАО «КБМ».

В то же время, постановка задачи структурно-параметрического синтеза целой системы вооружения, в данном случае системы ПТВ СВ, является новой и решение ее, опирающееся, безусловно, на описанные выше методики синтеза образцов ВВСТ и других СТС, потребовало разработки единой методологии структурно-параметрического синтеза системы ПТВ СВ. Суть ее состоит в многофакторном анализе системного окружения системы ПТВ СВ (рисунок 2), выделении типовых боевых задач (ТБЗ) для ПТВ в военных конфликтах

различного типа, проведении структурно-функциональной декомпозиции ТБЗ и системы ПТВ СВ, обосновании иерархической системы математических моделей и показателей оценки эффективности функционирования

системы, выборе и доработке методик рекуррентного формирования рациональных вариантов структуры системы ПТВ СВ, параметров ее подсистем и важнейших элементов.

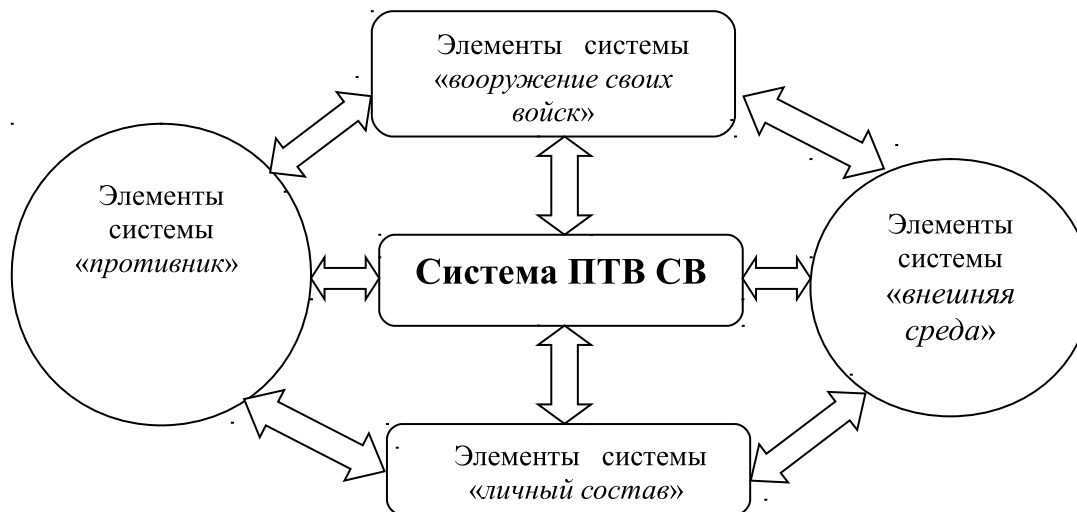


Рисунок 2 – Системное окружение системы ПТВ СВ

Для обоснования структуры комплекса математических моделей функционирования системы ПТВ СВ и системы показателей оценки эффективности применения противотанковых формирований (ПТФ) в целом, огневых средств, средств разведки и управления была проведена функционально-морфологическая декомпозиция системы ПТВ СВ.

Учитывая важность используемого способа декомпозиции системы ПТВ СВ для обоснования структуры математических моделей ее исследования, остановимся подробнее на методах и способах декомпозиции применительно к ПТВ.

В классических трудах по формальной теории структур выделяется широкий класс систем, называемых *расчленимыми* или *декомпозируемыми* (decomposable), только такие системы могут иметь *структуру*.

Декомпозируемость физических систем очевидна, как и то, что способов их декомпозиции может быть много: например, самоходный ПТРК, можно расчленить на шасси (в свою очередь расчленимое на корпус, двигатель, трансмиссию и т.д.), пусковую установку, механизм заряжания, прицел-прибор наведе-

ния, ПТУР, а можно выделить важнейшие подсистемы ПТРК такие как система обнаружения целей, система наведения ПТУР, система связи и др. Аналогичным образом достаточно очевидна декомпозируемость системы ПТВ СВ – системы управляемого вооружения (ПТРК – носимые, самоходные, вертолетные; КУВ – артиллерийские, танков, БМП, других объектов бронетехники), комплексы неуправляемого ПТ вооружения (противотанковая и танковая артиллерия, ствольная артиллерия и РСЗО, средства инженерных войск и войск РХБЗ, ...), системы информационного обеспечения ПТВ СВ, другие системы обеспечения. Такое расчленение физической системы на составные элементы называется *пространственной* декомпозицией, или, используя более распространенный термин, *морфологической* декомпозицией системы.

Выделение *характеристик* или *свойств* системы называется, как правило, *функциональной* декомпозицией.

Функциональная декомпозиция СТС, в частности образца ПТВ, может интерпретироваться как процесс выявления относительно самостоятельных свойств, связи между кото-

рыми отсутствуют или их число минимально. Очевидно, что этому условию удовлетворяют свойства, называемые, как правило, *базовыми* свойствами образца.

Таким образом, функциональная декомпозиция любого образца ВВСТ до базового уровня состоит в расчленении его основных свойств на составляющие их свойства (сложные, комплексированные) вплоть до базовых свойств, характеризующихся следующим образом:

количество связей между свойствами минимально;

всякому свойству сопоставима некая группа технических устройств, предназначенных для его реализации в образце;

показатель свойства может быть определен экспериментальным или расчетным путем при автономном исследовании соответствующих технических устройств;

показатель свойства может быть напрямую использован в системе исходных данных для моделирования функционирования образца.

Проводимые параллельно функциональная и морфологическая декомпозиции СТС естественно называть функционально-морфологической декомпозицией системы. Для выявления рациональной структуры системы математических моделей целесообразно провести функционально-морфологическую декомпозицию типовых боевых задач для системы ПТВ СВ, в первую очередь, конечно, задач штатных ПТФ общевойсковых соединений, частей и подразделений, с выделением структуры и задач подсистем, комплексов, элементов ПТФ, включая огневые средства, средства информационного обеспечения и другие средства обеспечения боевого применения ПТВ СВ.

Аналогичным образом проводится функционально-морфологическая декомпозиция других формирований (общевойсковых, артиллерийских, инженерных, ...), привлекаемых

к решению задач противотанковой обороны и декомпозиция системы ПТВ СВ в целом.

Применение указанных декомпозиций к системе ПТВ СВ тактического и оперативно-тактического звеньев управления позволяет прийти к четырехуровневой структуре комплекса математических моделей оценки эффективности ПТФ, приведенной на рисунке 3 и хорошо соответствующей общим методологическим уровням исследования сложных технических систем, на анализе которых остановимся чуть подробнее.

Понимание объекта исследования (будь то отдельный образец вооружения, ПТ формирование или система ПТВ СВ в целом) как СТС, рассматриваемую как единое образование – элемент системы вооружения и, одновременно, как систему, состоящую из ряда элементов (подсистем), объединяемых системообразующими связями, определяет целесообразность введения нескольких методологических уровней исследования:

- 1) «состав – свойства» (элементарный уровень);
- 2) «структура – функции» (агрегативный уровень);
- 3) «организация – поведение» (системный уровень);
- 4) «метасистема – деятельность» (уровень надсистемы).

На элементарном уровне анализируются свойства составных частей (элементов) огневых средств, средств управления и обеспечения, входящих в состав системы ПТВ СВ. Качество элементов исследуется, как совокупность их полезных свойств, которые в свою очередь определяются *техническими характеристиками*. Понятия «эффективность боевого применения» образцов ПТВ и ВВСТ (тем более их формирований в целом) на этом уровне не вводятся, поскольку рассматриваются только составные части средств ИО и образцов ПТ вооружения, входящих в соответствующие формирования.

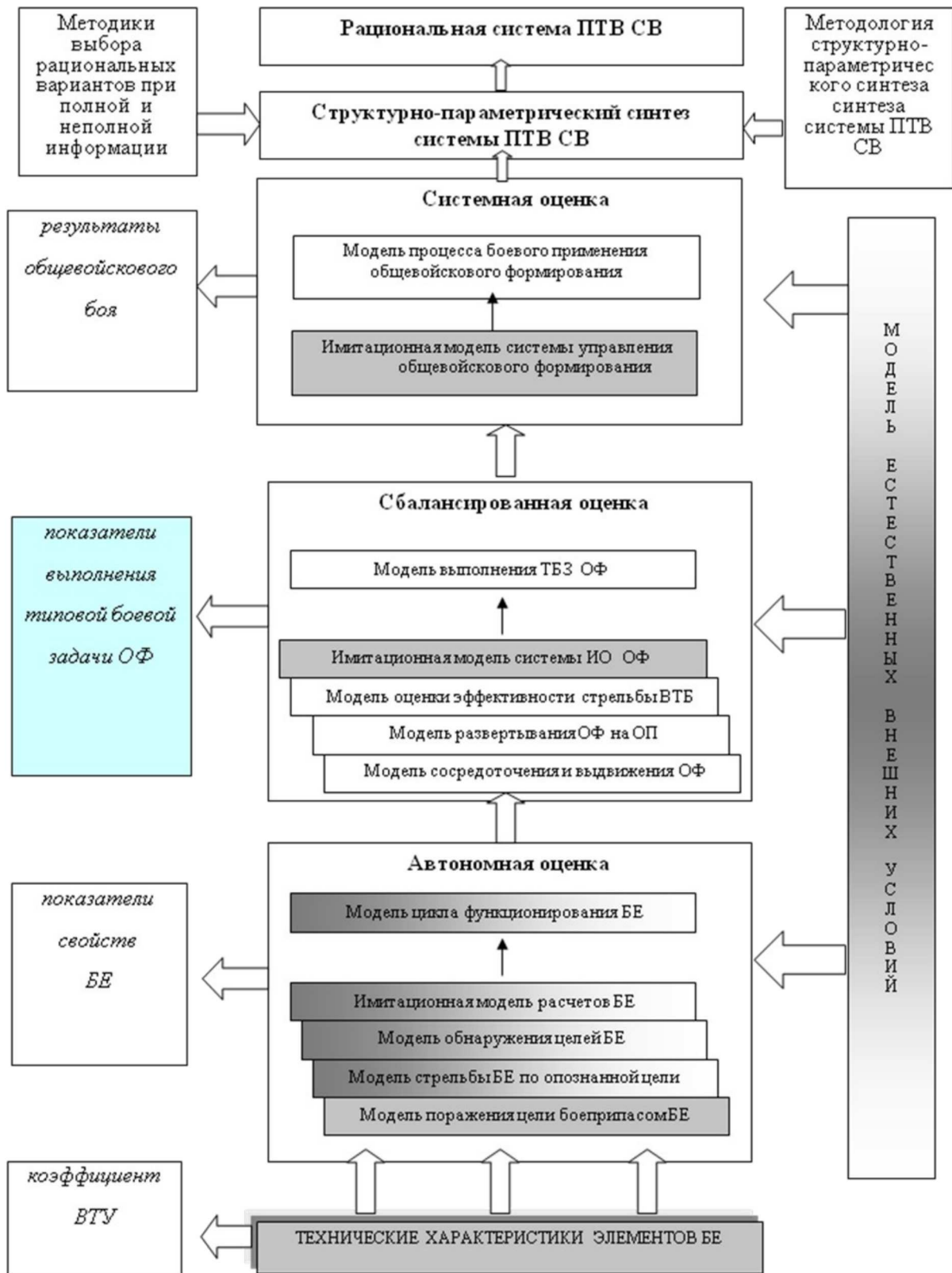


Рисунок 3 – Структура комплекса математических моделей и показателей оценки эффективности ПТВ СВ, как основа структурно-параметрического синтеза системы

На следующем уровне оцениваются характеристики функционирования образцов средств ИО и ПТВ как цельных боевых единиц, описывающие эффективность их авто-

номных действий на различных этапах боевого применения ПТВ. При этом цель функционирования образца на каждом этапе четко выражена и однозначно определена, связи

между объектами, входящими в ПТФ фиксированы, противник рассматривается как объект поражения (цель) и, одновременно, как источник организованных и случайных помех с определенным законом распределения (например, комплексы РЭП, комплексы групповой и индивидуальной защиты танков, пыледымовые помехи от огня артиллерии противника и т.д.), влияние внешней среды определяется параметрами типовых ситуаций естественных внешних условий (ТСЕВУ) и их воздействием на информационные каналы образцов ИО и ПТВ (средства разведки, прицеливания, наведения и др.). На данном уровне оцениваются показатели качества (военно-технического уровня, технического совершенства и т.п.) образцов, определяемые *базовыми* свойствами образцов ПТВ.

На уровне «организация – поведение» исследуются процессы боевого функционирования (выполнения типовых боевых задач (ТБЗ)) ПТФ, в состав которого входят штатные для рассматриваемого формирования огневые средства, средства разведки, управления, связи и обеспечения, интенсивность связей между которыми может изменяться во времени в зависимости от действий противника и параметров внешней среды. Именно на этом уровне определяются показатели эффективности боевого применения образцов ПТВ и средств ИО, как реализация совокупности их важнейших боевых *основных* свойств, а также показатели эффективности выполнения ТБЗ ПТФ при фиксированных связях с системой управления войсками.

На верхнем уровне оценки ПТФ и система ПТВ СВ рассматриваются как элементы метасистемы – общевойскового формирования, включающего соответствующие ПТФ и общей системы вооружения СВ, полезность которых определяется через показатели эффективности боевого применения войскового формирования в операции (общевойсковом бою), зависящие как от всех основных свойств образцов ПТВ и средств ИО (включая эксплуатационно-технические), так и от над-

системных, т.н. *эмерджентных* свойств ПТВ СВ, реализуемых только при функционировании в составе метасистемы.

В результате декомпозиции выделен перечень типовых боевых задач для ПТВ СВ, этапы и фазы их решения, а также структура базовых, комплексированных и основных свойств средств поражения и информационного обеспечения системы ПТВ СВ. Используя результаты декомпозиции и опираясь на общеметодические уровни исследования сложных технических систем, показана целесообразность выделения четырех уровней оценки эффективности ПТФ.

Предлагаемый методический подход к построению системы управляемого ПТВ СВ состоит в следующем:

на этапе анализа альтернативных вариантов построения определяющих элементов комплексов вооружения (на схеме они названы боевыми единицами (БЕ)) отсеиваются заведомо неэффективные варианты (т.е. уступающие по всем включенным в рассмотрение техническим характеристикам), сравнение оставшихся вариантов проводится по так называемому «коэффициенту военно-технического уровня (ВТУ)», представляющему собой свертку ТТХ БЕ и, возможно, экспертных оценок их качества;

уровень автономной оценки предусматривает моделирование важнейших процессов автономного функционирования БЕ – разведки целей, обмена информацией, стрельбы, поражения целей БЧ и др., с дальнейшей оценкой показателей основных свойств БЕ – скорострельности, боевой производительности, информационной производительности и т.д., вплоть до показателей эксплуатационных свойств, таких как осваиваемость, обитаемость, ремонтпригодность и пр.;

на уровне сбалансированной оценки моделируется процесс выполнения ПТ формированием (подразделением, состоящим или включающем в себя комплексы ПТ вооружения – взвод, батарея, дивизион, в том числе артиллерийскими формированиями.

используемыми высокоточные боеприпасы (ВТБ) типовой боевой задачи (ТБЗ), как правило включающий в себя выполнение ряда этапов – сосредоточение, выдвижение, развертывание, огневой бой. Основными показателями эффективности выполнения ТБЗ служат вероятность, время и стоимость выполнения задачи, динамика и соотношение потерь и ряд других показателей;

верхний уровень системной оценки базируется на моделировании боевых действий общевойскового формирования (например, усиленной мотострелковой бригады или формирования оперативного звена управления), включающего ПТ формирования, очевидными показателями эффективности их действий являются результаты общевойскового боя.

Все этапы моделирования проводятся в ограниченном наборе типовых ситуаций естественных внешних условий, характерных для заданного региона, по соответствующим этому региону группировкам противника и способам их действия, определяющим набор

ТБЗ для ПТФ. Оценка проводится многократно для каждого из альтернативных вариантов построения системы управляемого ПТ вооружения, в итоге, лицу, принимающему решение, представляется так называемое Паретовское множество рациональных вариантов (т.е. вариантов не улучшаемых сразу по всем показателям), из которых и производится выбор наилучшего варианта для конкретных задач и установленных приоритетов. Как правило, выбирается либо вариант, обеспечивающий минимальную стоимость решения задач, при заданной вероятности их решения, либо вариант наиболее эффективный при заданной стоимости создания системы управляемого ПТВ.

Методический подход используется при обосновании роли и места перспективных комплексов управляемого вооружения, а также при разработке концепции развития ВТО СВ и разделов соответствующей комплексной целевой программы.

Список использованных источников

1. Акимов С.В. Structuralist – язык моделирования морфологического множества // 56-я НТК СПбГУТ. – СПб.: СПбГУТ, 2004. – С. 75.
2. Свирцева Э.А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами. – Харьков: ХТУРЕ, 1998. – 256 с.
3. Лыпарь Ю.И. Когнитивные структуры в системе управления гуманоидного робота / Ю.И.Лыпарь, Л.А. Станкевич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 7. – С. 7-10.
4. Горюнов И.М. «Структурно-параметрический синтез газотурбинных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов» // Вестник УГАТУ, Т. 11. Уфа, 2008. – №2 (29). С. 30-38.
5. Шипунов А.Г., Березин С.М., Игнатов А.В. Постановка задачи структурного синтеза и обоснования характеристик современных комплексов вооружения // Известия ТулГУ. Серия «Проблемы специального машиностроения». Вып. 1, – Тула, 1997. С. 186-190.
6. Шипунов А.Г., Игнатов А.В. Структурно-параметрический синтез пушечно-ракетных комплексов вооружения. –Тула: ГУП КБП, 2000. – 167 с.