

УДК 351.864:001.89(043.2)

**И.М. НИКОЛАЕВ***(Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, г. Харьков)*

## **Формализация задачи синтеза облика зенитной ракетной системы нового поколения на основе системно-концептуального подхода**

*Рассмотрен один из возможных подходов к формализации задачи формирования рационального технического облика зенитной ракетной системы нового поколения с учетом ресурсных ограничений. Показано, что решение этой задачи в методологическом плане требует разработки системы имитационно-математических моделей, описывающих процесс боевого функционирования ЗРС при выполнении совокупности боевых задач в прогнозируемых условиях ведения боевых действий. Приводится алгоритм формирования облика ЗРС, предусматривающий выполнение функционального, технического и конструктивного синтеза по критериям максимума боевого показателя эффективности ЗРС и минимума стоимости создания ее подсистем с требуемыми характеристиками. Показано, что предложенный подход позволяет поднять уровень обоснованности тактико-технических требований и технических предложений по созданию ЗРС нового поколения и структурировать этот процесс в виде последовательности взаимосвязанных процедур, что, в свою очередь, позволит перейти к разработке методик и формализации основных этапов функционального и схематического проектирования ЗРС нового поколения.*

*Ключевые слова:* зенитная ракетная система, облик, опертивно-тактические требования, тактико-технические характеристики, функциональный синтез, технический синтез, конструктивный синтез

*Розглянутий один з можливих підходів до формалізації задачі формування раціонального технічного обрис зенітної ракетної системи нового покоління з урахуванням ресурсних обмежень. Показано, що рішення цієї задачі в методологічному плані вимагає розробки системи імітаційно-математичних моделей, які описують процес бойового функціонування ЗРС при виконанні сукупності бойових завдань в прогнозованих умовах ведення бойових дій. Приводиться алгоритм формування обрис ЗРС, який передбачає виконання функціонального, технічного і конструктивного синтезу за критеріями максимуму показника бойової ефективності ЗРС і мінімуму вартості створення її підсистем з необхідними характеристиками. Показано, що запропонований підхід дозволяє підняти рівень обґрунтованості тактико-технічних вимог і технічних пропозицій зі створення ЗРС нового покоління і структурувати цей процес у вигляді послідовності взаємопов'язаних процедур, що, у свою чергу, дозволить перейти до розробки методик і формалізації основних етапів функціонального і схематичного проектування ЗРС нового покоління.*

*Ключові слова:* зенітна ракетна система, обрис, опертивно-тактичні вимоги, тактико-технічні характеристики, функціональний синтез, технічний синтез, конструктивний синтез

**Постановка проблемы.** Зенитные ракетные системы (ЗРС) создаются для решения задач прикрытия важных государственных объектов и группировок войск от ударов воздушного противника и должны в полной мере удовлетворять высоким требованиям борьбы с существующими и перспективными средствами воздушного нападения (СВН). Стремление к обеспечению превосходства над воздушным противником обуславливает непрерывный процесс создания ЗРС с более высокими боевыми возможностями [1-4]. Общей закономерностью их развития является непрерывное усложнение, сопровождающееся существенным увеличением сроков разработки, затрат на их создание и серийное производство. В связи с этим существенно возрастают требования к доказательности и качеству военно-научных исследований по обоснованию облика ЗРС нового поколения. Определяющим фактором качества этих исследований является уровень методологии их проведения.

Опыт стран, занимающих передовые рубежи в сфере разработки и производства зенитного ракетного вооружения, показывает, что облик ЗРС нового поколения определяется в результате концептуального проектирования, или, другими словами, синтеза, в процессе которого принимается большинство решений по составу, структуре, принципам построения и алгоритмам функционирования системы. Синтез облика ЗРС нового поколения начинается с разработки основных направлений развития образцов зенитного ракетного вооружения, продолжается в ходе военно-технических исследований по обоснованию оперативно-тактических (ОТТ) и тактико-технических требований (ТТТ) к ЗРС в рамках военных научно-исследовательских работ (НИР) и завершается (в концептуальном смысле) в специальной промышленной НИР, направленной на разработку тактико-технического задания (ТТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР) по созданию соответствующего образца вооружения. Поскольку эффективность применения ЗРС напрямую зависит от технического облика применяемых в ней подсистем, практически важными являются вопросы оптимизации состава оборудования, структуры и параметров системы с учетом ограниченный, накладываемых как используемыми средствами подвижности, так и имеющимися в наличии технологиями и техническими решениями.

Практика научно-технического сопровождения работ по модернизации и созданию в Украине собственных зенитных ракетных комплексов (систем) свидетельствует о недостаточном внимании заказчика и разработчиков к вопросам методологии обоснования облика предлагаемых к разработке образцов зенитного ракетного вооружения. На сегодняшний день процесс построения облика ЗРС, как правило, находится в творческой плоскости и базируется на опыте и знаниях разработчиков. Принятие ошибочных, недостаточно продуманных и не обоснованных решений может привести к неоправданным затратам материальных средств и в конечном итоге к неосуществимости решения поставленных задач. В связи с этим актуальной является задача разработки методического аппарата обоснования

рационального облика ЗРС конкретного целевого назначения, что позволит повысить уровень обоснованности тактико-технических требований и технических предложений по ее созданию.

**Формулировка цели статьи.** Целью статьи является формализация задачи синтеза рационального технического облика ЗРС нового поколения на основе теоретико-множественного подхода и изложение алгоритма ее решения при заданных ресурсных ограничениях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время практически отсутствуют работы по обоснованию облика и вариантов построения ЗРС различного целевого назначения. Исключением являются учебные пособия [5, 6], в которых кратко излагается методология обоснования структуры построения и характеристик зенитных ракетных средств; приведена постановка задачи определения рациональной структуры построения и обоснования тактико-технических характеристик подсистем ЗРК малой дальности; рассмотрена система математических моделей для решения задачи проектирования на этапе технических предложений. Однако в данных работах отсутствует математическая постановка задачи синтеза рационального технического облика ЗРС, как изделия военной техники конкретного целевого назначения.

Методологическим аспектам обоснования перспективного облика системы вооружения посвящена статья [7], в которой рассматриваются вопросы использования определенных критериев и показателей при обосновании облика различных систем вооружения, структура, общая последовательность (алгоритм) и содержание этапов процесса исследования и обоснования облика системы вооружения Вооруженных Сил, систем вооружения группировок, а также облика образцов и комплексов вооружения и военной техники (ВВТ). Работа [8] посвящена обоснованию состава основных боевых свойств и оценке эффективности ВВТ. В [9] рассмотрен один из возможных подходов к формализации процесса формирования технического облика автоматизированных систем. В статье [10] изложен методический подход к решению задачи синтеза облика средств радиоэлектронного подавления в виде трехэтапной процедуры, предусматривающей выполнение функционального, технического и конструктивного синтеза облика изделия, предлагаемого к разработке. В [11] рассматриваются элементы методологии обоснования облика перспективных авиационных комплексов (АК), проводимого при планировании развития, предпроектных исследованиях и внешнем проектировании боевых АК.

Результаты, полученные в этих работах, могут быть использованы для формализации задачи синтеза облика ЗРС нового поколения и обоснования рациональных путей ее решения с учетом заданных ограничений.

**Изложение основного материала.** Информационной основой для формирования облика перспективной ЗРС является концепция ее создания, под которой понимается замысел воплощения в конструкции такого сочетания боевых свойств, которое обеспечивает качественное превосходство ЗРС над зарубежными аналогами и

эффективное решение боевых задач войсковыми формированиями, комплектуемыми данной техникой. Конкретным представлением концепции ЗРС является технический облик (далее – облик), отображающий ее наиболее характерные черты.

Под обликом ЗРС понимают структуру, принципы устройства и функционирования системы, а также совокупность тактико-технических и эксплуатационно-технических характеристик ЗРС и ее боевых и технических средств, которые определяют уровень технического совершенства и приспособленность системы к эффективному выполнению возлагаемых на нее боевых задач по обороне объектов и группировок войск от ударов воздушного противника в прогнозируемых условиях ведения противовоздушной операции (боевых действий).

При решении задачи формирования (синтеза) облика ЗРС нового поколения рассматривается изделие военной техники, представляющее собой совокупность функционально связанных отдельных боевых и технических средств, объединенных единой организацией функционирования и общим управлением для выполнения задач, определенных назначением системы.

Под боевыми средствами ЗРС понимаются средства, реализующие определенные функции и обеспечивающие решение боевых задач ЗРС по обнаружению, распознаванию, сопровождению и уничтожению заданной номенклатуры типов (классов) целей в прогнозируемых условиях ведения боевых действий. К боевым средствам, в общем случае, относятся командно-управляющие средства, специализированные РЛС обнаружения целей и наведения ракет, пусковые установки (устройства), а также зенитные управляемые ракеты (ЗУР). На этапе обоснования облика ЗРС нового поколения в качестве боевых средств могут выступать соответствующие технологии, под которыми понимаются совокупности документированных знаний и фактографических данных, описывающих назначение, основные тактико-технические характеристики (ТТХ) и принципы функционирования этих средств [12].

Задача синтеза облика ЗРС нового поколения, обеспечивающей требуемую эффективность решения возлагаемых на систему боевых задач при наличии ресурсных ограничений, относится к классу сложных оптимизационных задач, для решения которой предлагается использовать теоретико-множественный подход, суть которого заключается в следующих положениях.

Пусть ЗРС как сложная система имеет конечное множество  $S = \{S_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$  системных (боевых и эксплуатационных) свойств, определяющих ее качество. Примем, что каждое свойство  $S_i$  имеет количественную характеристику – системный показатель качества  $K_i$ . Тогда качество ЗРС  $K_{зрс}$  в общем виде может быть описано функционалом от показателей качества боевых свойств  $K_{зрс} = K_f \{K_i\}$ . Проведем декомпозицию ЗРС на  $L$  подсистем ( $l = 1, \dots, L$ ). Такими подсистемами могут быть, например, командно-управляющая, разведывательно-информационная, огневая и подсистема технического обеспечения. Каждая подсистема обладает собственными свойствами  $S_l^H = \{S_{lg}\}$  и описывающими их

показателями качества,  $K_i^n = \{K_{lg}\}$ , где  $g = 1, \dots, G_l$ ,  $G_l$  – количество свойств  $i$ -й подсистемы. В свою очередь, показатели качества подсистем определяются значениями параметров системы  $K_{lg} = K_{lg}(P)$ , где  $P = \{P_j\}$ ,  $j = 1, \dots, m$  – множество параметров системы (характеристик элементов системы).

Процесс взаимодействия подсистем ЗРС определяется множеством системных взаимосвязей  $Y = \{Y_h\}$ ,  $h = 1, \dots, H$ . Поэтому системные показатели качества ЗРС определяются не только показателями качества ее подсистем, но и характером системных взаимосвязей:

$$K_i = \psi_i \left[ \left\{ K_i^n(P) \right\} \left\{ Y_h \right\} \right]. \quad (1)$$

Тогда с учетом приведенных выше соотношений качество ЗРС может быть описано функционалом

$$K_{ЗРС} = K(P, Y). \quad (2)$$

В процессе применения ЗРС в ходе ведения боевых действий качество системы реализуется через ее эффективность:

$$K_{ЗРС} = F[K(P, Y), \Phi(t), V(t), U(t), T], \quad (3)$$

где  $\Phi(t) = \{\Phi_z(t)\}$  – множество функций (боевых задач), возлагаемых на ЗРС,  $z = 1, \dots, Z$ ;  $V(t) = \{E, B(t)\}$  – множество условий функционирования (боевого применения) ЗРС, включающее  $E$  – качество эксплуатации,  $B(t)$  – множество внешних факторов, воздействующих на ЗРС в процессе ее функционирования (боевого применения);  $U(t) = \{D, A, R, I, R_a, \Phi_a(t)\}$  – множество параметров, характеризующих способы применения ЗРС:  $D$  – режим функционирования системы,  $A$  – состав боевых и технических средств,  $R$  – состав применяемых задач специального программного обеспечения и информационных технологий,  $I$  – состав используемой информации,  $R_a$  – распределение задач специального программного обеспечения по автоматизированным рабочим местам боевого расчета ЗРС,  $\Phi_a(t)$  – последовательность автоматизированного выполнения функций (задач) в ходе ведения противоздушного боя;  $T$  – продолжительность применения ЗРС.

Оптимизация параметров структуры ЗРС по критерию «эффективность-стоимость» заключается в

решении задачи построения системы с такими параметрами  $P^* = \{P_j^*\}$ , системными взаимосвязями  $Y^*$  и, соответственно, качеством  $K^* = (P^*, Y^*)$ , которые обеспечивают максимальную эффективность ЗРС:

$$\mathcal{E} = \max F[K(P, Y), \Phi(t), V(t), U(t), T] = F[K^*, \Phi(t), V(t), U(t), T] \quad (4)$$

при заданных условиях функционирования  $V(t) = V_o(t)$ ,  $T = T_o$ , способах применения  $U(t) = U_o(t)$  и ограниченной стоимости ЗРС

$$C = F_C(K^*) \leq C_o, \quad (5)$$

где  $F_C(K^*)$  – стоимость разработки и эксплуатации ЗРС с качеством  $K$ ;  $C_o = C_p + C_o$  – ограничение на стоимость ЗРС:  $C_p$  – стоимость разработки,  $C_o$  – стоимость эксплуатации ЗРС.

Основу научно-методического аппарата решения задачи формирования облика перспективной ЗРС должна составлять система имитационно-математических моделей, описывающих процесс боевого функционирования ЗРС в составе тактической группы ЗРВ при выполнении совокупности боевых задач в прогнозируемых условиях ведения боевых действий (рис. 1).

В общем случае, задача обоснования облика ЗРС нового поколения заключается в нахождении отображения боевых задач, возлагаемых на систему, на варианты их решения с использованием того или иного состава боевых и технических средств, обеспечивающего минимальное значение затрат на разработку  $C_p \rightarrow \min$  в прогнозируемый период времени  $T \leq T_{oon}$ . Каждая задача  $z \in Z$  описывается алгоритмом ее решения, который отображает последовательность выполнения функциональных операций обработки информации и принятия решения на обстрел цели. Затем для каждой функциональной операции выбираются возможные средства ее реализации, в качестве которых могут выступать существующие технологии.

Синтез рационального технического облика ЗРС нового поколения должен осуществлять в процессе выполнения комплекса исследований, упорядоченного в виде итерационной процедуры и направленного на решение следующих задач:

1) выявление дефицита функциональных свойств существующих ЗРС, выявление потребности в новых



Рис. 1. Схема формирования рационального технического облика ЗРС нового поколения



Рис. 2. Алгоритм функционального синтеза облика ЗРС нового поколения

качествах ЗРС на основе исследования функционирования системы зенитного ракетного вооружения на операционных моделях;

2) анализ научно-технического задела и формирование возможных технических путей и способов устранения дефицита функциональных свойств существующих ЗРС;

3) формирование альтернативных вариантов облика ЗРС нового поколения, включая формирование ее функционально-параметрической модели, оптимизация облика ЗРС для различных вариантов ее технической концепции;

4) определение рационального варианта облика и области целевого применения ЗРС в составе группировок ЗРВ совместно с существующими и планируемыми к разработке другими типами зенитного ракетного вооружения, оценка технической реализуемости, критических технологий и рисков создания, ресурсных и временных характеристик;

5) комплексная оценка эффективности ЗРС нового поколения в прогнозируемых условиях ведения боевых действий.

На различных этапах этих исследований ЗРС рассматривается как изделие военной техники конкретного целевого назначения в составе системы зенитного ракетного вооружения вида (рода) войск, при этом решается ряд взаимосвязанных вопросов, суть которых

можно свести к трем научным задачам анализа и синтеза облика ЗРС:

- 1) обоснование основных тактико-технических требований (ОТТТ) к ЗРС;
- 2) обоснование ТТТ к основным подсистемам (боевым средствам) ЗРС;
- 3) разработка тактико-технического задания (ТТЗ) на выполнение опытно-конструкторской работы (ОКР) по созданию ЗРС нового поколения.

В ходе решения этих задач осуществляется:

- оценка вариантов построения ЗРС нового поколения по совокупности показателей эффективности и качества;
- оптимизация параметров функциональной, технической и информационной структур ЗРС по критерию «эффективность-стоимость»;
- оптимизация способов применения ЗРС по критерию эффективности.

Процедура формирования рационального технического облика ЗРС нового поколения, включает три последовательных этапа, на которых ЗРС рассматривается позиций выполняемых функций (функциональный синтез), боевых и технических средств, реализующих данные функции (технический синтез) и функциональных систем и конструктивных элементов (конструктивный синтез).

Основной задачей функционального синтеза является обоснование оптимальных состава, структуры и алгоритма функционирования ЗРС. Технический синтез проводится в интересах обоснования оптимальных принципов построения подсистем ЗРС, а конструктивный – оптимизации номенклатуры и технических характеристик комплектующих изделий каждой из подсистем.

На этапе функционального синтеза определяются наиболее важные (с точки зрения решаемых задач) характеристики ЗРС и входящих в ее состав подсистем (рис. 2). Первичные результаты технического и конструктивного синтеза заимствуются из банка данных, полученных при решении задач синтеза ЗРС предыдущего поколения. На данном этапе осуществляется подготовка исходных данных для исследований и обоснование множества типовых условий боевого применения ЗРС, прогнозирование функционально-технического облика СВН как объектов поражения, определение базовых множеств способов и средств огневого поражения СВН разных типов (классов) в прогнозируемых условиях ведения боевых действий, генерация возможных вариантов состава и структуры ЗРС, выбор общего и частных показателей эффективности. Кроме того, выполняются предварительные исследования по оценке эффективности альтернативных вариантов облика ЗРС. Особое место на данном этапе занимает задача обоснования (прогнозирования) функционально-технического облика СВН как объектов поражения в условиях существенной априорной неопределенности.

На втором этапе проводятся функциональный и технический синтезы. При этом первичные результаты конструктивного синтеза заимствуются из соответствующего банка данных. На данном этапе выполняются основные параметрические исследования и получаются зависимости энергетических и неэнергетических характеристик подсистем (боевых и технических средств) ЗРС от выделяемого ресурса (массы, габаритов, энергопотребления) при различных принципах их построения, а также зависимости показателей эффективности ЗРС от его характеристик в диапазоне возможных ограничений.

На третьем этапе проводятся все виды синтеза ЗРС (функциональный, технический и конструктивный), осуществляется построение целевой функции (основного показателя эффективности как функции характеристик ЗРС) и уточняются оптимальные состав, структура, характеристики и алгоритмы функционирования ЗРС с учетом возможности их реализации на конструктивном уровне. Основное внимание на данном этапе должно уделяться получению зависимостей характеристик подсистем и ЗРС в целом от номенклатуры и технических характеристик ее составных частей (комплектующих изделий) при заданных ограничениях. Полученные в результате оптимизации характеристики ЗРС трансформируются в соответствующие ТТТ, которые являются основой для разработки ТТЗ на выполнение ОКР по созданию ЗРС.

Особенности задач функционального, технического и конструктивного синтеза ЗРС предопределяют необходимость использования различных критериев

оптимизации и методического аппарата для проведения исследований. В частности, функциональный синтез должен проводиться по критерию максимума показателя боевой эффективности ЗРС с использованием методик (моделей), воспроизводящих динамику конфликта ЗРС с совокупностью СВН разных типов в прогнозируемых условиях их боевого применения [9]. Технический и конструктивный синтезы должны выполняться по критерию минимума стоимости создания подсистем (составных частей) ЗРС с заданными характеристиками. Для проведения технического и конструктивного синтеза должны использоваться методики, позволяющие рассчитывать частные показатели эффективности (характеристики) основных боевых и технических средств ЗРС в зависимости от характеристик входящих в их состав функциональных систем (комплектующих изделий).

Основным инструментом реализации описанной процедуры формирования облика ЗРС нового поколения является математическое моделирование, задачей которого является получение оценок эффективности применения существующих и перспективной ЗРС в прогнозируемых условиях в составе системы зенитного ракетного вооружения для выявления дефицитов функциональных свойств и формирования вариантов облика перспективной ЗРС. Результатом данных исследований является получение описания облика ЗРС в виде совокупности количественно-качественных признаков (параметров), характеризующих ЗРС нового поколения с точки зрения функциональных и экономических характеристик, а также показатели боевой эффективности. К таким показателям относятся:

- 1) признаки (параметры), определяющие внешнюю конфигурацию и топологию ЗРС: типы, количество и массогабаритные характеристики информационно-управляющих, разведывательно-информационных и огневых средств и средств технического обеспечения; функциональные взаимосвязи между элементами ЗРС при решении задач борьбы с заданными типами СВН: предельные (максимальные или минимальные) расстояния между элементами ЗРС при их размещении на местности) организация и структура системы ПВО, в рамках которой осуществляется (будет осуществляться) функционирование и боевое применение ЗРС;

- 2) признаки, характеризующие прикрываемые объекты: категория и характеристики (дислокация, размеры, степень важности) объектов, ожидаемый наряд ударных сил на прикрываемые объекты;

- 3) признаки, характеризующие поражаемые СВН: типы целей с указанием их приоритетности; эффективные поверхности рассеяния, характеристики контрастности и собственного излучения целей в диапазонах волн приемопередающих устройств ЗРС; характеристики уязвимости целей; диапазон скорости полета по высотам; максимальная и минимальная высоты боевого применения; типовые варианты боевых действий целей, боевые порядки, виды маневров, перегрузки, углы пикирования;

- 4) признаки боевой эффективности: требуемая эффективность прикрытия объектов (войск) от ударов

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

СВН; вероятности поражения одиночных целей одной ЗУР для различных типов целей;

5) признаки огневых средств: параметры зоны поражения применительно к каждому типу используемых ЗУР для различных типов целей;

6) признаки огневой производительности: количество целевых и ракетных каналов; рабочее время (время от обнаружения цели до момента схода ракеты); время зарядания (перезарядания) пусковых (пуско-заряжающих) установок (ПУ, ПЗУ); минимальный интервал между пусками ракет; время непрерывной работы средств ЗРС; степень автоматизации процессов управления и использования ЗРС; возможность ведения ЗРС самостоятельных боевых действий; боекомплект ракет (по типам ЗУР); массогабаритные характеристики ПУ, ПЗУ;

7) признаки условий ведения стрельбы: с заранее подготовленных позиций, с полевых позиций, с коротких остановок, в движении;

к) признаки ЗУР: средние скорости ЗУР при стрельбе на дальнюю границу зоны поражения; ограничения по стартовой массе и габаритным размерам.

Каждый признак облика ЗРС множеством конструктивно-компоновочных решений, а технические решения, в свою очередь, определяются вектором геометрических, конструктивных, а, применительно к ЗУР, и баллистических параметров.

Разработка, систематизация и формализованное описание технических решений могут быть проведены на основе анализа состояния и прогнозов развития элементной базы, патентных исследований, опыта проектирования, физических законов, исследований областей применения тех или иных проектных решений.

**Выводы.**

1. Синтез рационального технического облика ЗРС нового поколения, как изделия военной техники конкретного целевого назначения, представляет собой процесс разработки архитектуры сложной технической системы. Формализация этого процесса должна осуществляться на основе системно-концептуального подхода, исходя из принципов многокритериальности, декомпозиции и итеративности.

2. Существо задачи синтеза рационального технического облика ЗРС нового поколения состоит в нахождении таких состава, структуры и технических характеристик системы и ее основных подсистем, которые обеспечивают экстремальное значение выбранного показателя боевой эффективности при заданных ресурсных ограничениях.

3. Приведенный алгоритм решения задачи синтеза облика ЗРС нового поколения в методологическом плане позволяет поднять уровень обоснованности тактико-технических требований и технических предложений по созданию системы, как изделия военной техники конкретного целевого назначения, структурировать этот процесс в виде последовательности взаимоувязанных процедур, что, в свою очередь, позволит перейти к разработке методик и формализации основных этапов функционального и схемотехнического проектирования ЗРС.

1. Ненартович Н.Э. Современные зенитные ракетные системы ПВО и нестратегической ПРО [Электронный ресурс] / Н.Э. Ненартович // Воздушно-космическая оборона. – 2001. – №3 (3). – Режим доступа: [http://old.vko.ru/article.asp?pr\\_sign=archive.2001.3.0103\\_05](http://old.vko.ru/article.asp?pr_sign=archive.2001.3.0103_05).
2. Коровин В.Н. Ракетные комплексы ПВО: тенденции развития [Электронный ресурс] / В.Н. Коровин // Национальная оборона. – 2010. – №12. – Режим доступа: <http://old.nationaldefense.ru/1782/1785/index.shtml?id=1789>.
3. Болотов Е.Г. Новое поколение зенитных управляемых ракет средней дальности [Электронный ресурс] / Е.Г. Болотов, Б.Я. Мизрохи // Вестник ПВО – 2004. – Режим доступа: [http://pvo.guns.ru/book/fakel/new\\_gen.htm](http://pvo.guns.ru/book/fakel/new_gen.htm).
4. Гриб Д. А. Основні проблеми і напрями розвитку зенітного ракетного озброєння на тривалу перспективу / Д. А. Гриб, В. В. Лук'ячук, І. М. Ніколаєв // Озброєння та військова техніка. – 2016. – №1 (19). – С. 37-40.
5. Вишнякова Л.В., Карп К.А., Малышев В.В. Формирование облика ЗРС – М.: МАИ, 2003. – 49 с.
6. Вишнякова Л.В., Карп К.А., Малышев В.В. Современные зенитные ракетные системы. Учебное пособие. – Москва: МАИ, 2003. – 28 с.
7. Баскаков В. В. Методологические аспекты обоснования перспективного облика системы вооружения [Электрон. ресурс] / Вестник Академии военных наук. – 2006. – № 2 (15). – С. 116-122. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9250354>
8. Бонин А. С. Боевые свойства и эффективность вооружения и военной техники [Электрон. ресурс] / Военная мысль. – 2005. – № 1. – С. 65-68 / Режим доступа: <http://militaryarticle.ru/voennayamysl/2005-vm/9478-boevye-svoystva-i-jeffektivnost-vooruzhenija-i>
9. Самохвалов Ю. Я. Формирование технического облика автоматизированных систем [Электрон. ресурс] / Ю. Я. Самохвалов, Е. М. Науменко, О. И. Бурба // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 51-61. / Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50528>
10. Балыбин В. А., Баринин С. П., Маевский Ю. Л. Обоснование тактико-технических требований к технике радиоэлектронной борьбы: методологический аспект / Военная мысль. – 2005. – № 9. – С. 16-24.
11. Демидов Б. А., Хмелевская О. А. Методический подход к формированию облика перспективных боевых авиационных комплексов / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 2 (4). – С. 58-64.
12. Ланецкий Б. Структура і тенденції розвитку технологічного базису сучасного зенітного ракетного озброєння середньої та великої дальності / Б. Ланецкий, І. Чепков, В. Лук'ячук, І. Ніколаєв // Наука і оборона. – 2013. – № 4. – С. 56-62.