

УДК 623.624

А.В. Безверхий<sup>1</sup>, О.Н. Будур<sup>2</sup>, Г.В. Ермаков<sup>1</sup>, А.Ф. Шевченко<sup>1</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков<sup>2</sup>в/ч А 0666, Черноморское

## ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ РАКЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОРУЖИЯ

В статье формулируется и проводится декомпозиция задачи исследования одного из возможных способов борьбы с противолокационными ракетами - функционального поражения бортовых радиоэлектронных систем самонаведения.

**Ключевые слова:** электромагнитное оружие, функциональное поражение радиоэлектронных средств, система самонаведения противорадиолокационных ракет.

### Введение

**Общая постановка проблемы.** В современных военных конфликтах для успешного ведения боевых действий каждая из противоборствующих сторон должна решить задачу по завоеванию превосходства в воздухе. Это требует подавления системы противовоздушной обороны (ПВО) противника. Для борьбы с группировками ПВО в настоящее время используются различные виды высокоточных средств поражения (ВТСП): крылатые ракеты (КР), беспилотные летательные аппараты (БЛА) управляемые авиационные бомбы (УАБ), авиационные управляемые ракеты (УАР), в том числе противорадиолокационные (ПРР), и др.

Важную роль в борьбе с элементами высокоточного оружия (ВТО), отводят зенитным ракетным комплексам (ЗРК) и системам (ЗРС) ближнего действия (БД) и малой дальности (МД). По мнению специалистов [3 – 5], существующие зенитные средства БД и МД, хотя и способны поражать практически все типы пилотируемых целей в пределах их досягаемости, не могут эффективно противостоять атакующим элементам ВТО, и в первую очередь ПРР. Последние наиболее эффективны при поражении радиолокационных станций (РЛС) ЗРК. Особенности, которые затрудняют борьбу с ПРР, являются малая ЭПР и относительно высокая скорость полета; возможность использования в любых метеоусловиях и видимости, зачастую без входа носителя в зону поражения средств ПВО не только МД и БД, но и средней дальности (СД) и дальнего действия (ДД) [1]. Это связано с большим временем реакции зенитных комплексов, значительную часть которого занимает время обновления информации о целевой обстановке, и время подлета зенитной управляемой ракеты (ЗУР) или снаряда (ЗС) к точке встречи.

**Целью работы** является постановка и декомпозиция задачи исследования способа борьбы зе-

нитных средств БД и МД с ПРР, который не будет зависеть от перечисленных факторов.

### Изложение материалов исследования

Основные способы защиты от ПРР и их классификация приведена на рис. 1 [2, 7, 8]. Их можно условно разделить на две основные группы: активные и пассивные.

Рассмотрим некоторые сложности реализации следующих пассивных способов защиты от ПРР силами зенитных средств МД и БД:

– *снижение заметности защищаемых объектов* – усложняется широким диапазоном рабочих частот головки самонаведения (ГСН) существующих ПРР;

– *повышение временной и энергетической скрытности зенитных средств* – требует использования новой аппаратуры формирования и обработки сложных сигналов, поскольку РЛС существующих ЗРК в основном используют простые зондирующие сигналы;

– *смена временных режимов функционирования и параметров излучения РЛС* – усложняется потребностью внесения изменения во временной регламент работы радиолокационных средств ЗРК, большинство из которых работает по «жесткой» программе и не предполагает изменений согласно с целевой обстановкой;

– *повышение стойкости ЗРК к факторам поражения боевой части ПРР (осколочного поля, ударной волны)* – усложняется необходимостью бронирования таких, подверженных поражению элементов РЛС ЗРК, как антенные посты, элементы фидерного тракта и др.;

– *фортификационная (инженерная) защита стартовых позиций ЗРК* – сложна для использования в маневренных формах боевых действий;

– *использование тактических приемов, направленных на снижение вероятности поражения ЗРК,*

или недопущения пуска ПРР по ним – усложняется большим количеством способов применения ПРР в борьбе с ЗРК;

– использование систем пассивной локациии и (или) систем радиотехнической разведки, систем многопозиционной (разнесенной) локациии – требуют протяженных, помехозащищённых, стойких каналов связи и синхронизации, функционирование которых тяжело обеспечить в маневренных формах боя;

– использование средств, отводящих ПРР на себя (оборудование ложных стартовых позиций и макетов ЗРК) – сложно обеспечить в маневренных формах боя, кроме того данные способы выступают в качестве демаскирующих факторов.



Рис. 1. Вариант классификации способов борьбы с ПРР

Более радикальными способами защиты от ПРР являются активная борьба с ними. Она может предполагать как проведение упреждающих ударов по носителям ПРР зенитными средствами ДД (СД) и (или) истребительной авиацией, огневое воздействие средствами ПВО МД (БД), так и функциональное радиоэлектронное поражение (подавление) радиоэлектронных средств (РЭС) ПРР в различных диапазонах электромагнитных волн [1].

Естественно, что организация и проведение указанных мероприятий должны решаться на основе общепринятых системотехнических критериев, в частности, критерия "эффективность-стоимость". На рис. 2, для наглядности, представлены отношения усредненной стоимости ЗУР (снарядов) зенитных средств различного радиуса действия к усредненной стоимости основных видов ВТСП [10].

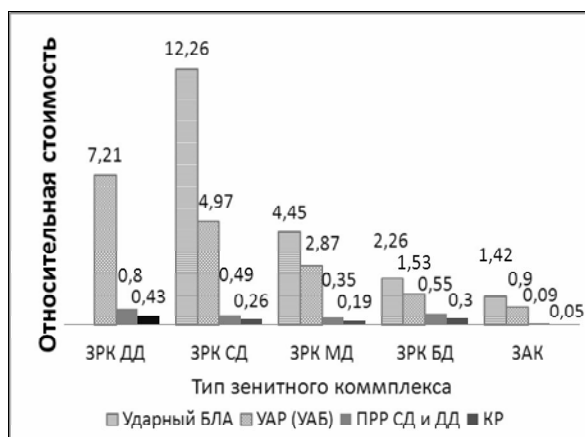


Рис. 2. Отношение стоимости ЗУР к стоимости основных средств высокоточного поражения

Из рисунка следует, что т.к. основными целями средств ДД и СД являются более дорогостоящие, чем ВТСП, самолеты тактической и стратегической авиации, то расходовать ЗУР ДД (СД) для борьбы с относительно дешевыми ПРР, которые к тому же являются и более сложными для их поражения целями, вряд ли целесообразно.

Кроме экономической составляющей, РЛС ЗРК данного типа ограничены в возможностях обнаружения ПРР при полете на сверхмалых высотах и небольших расстояниях от стартовых позиций. В таких условиях на зенитные средства МД (БД) могут возлагаться задачи как самоприкрытия от атакующих элементов ВТО противника и прежде всего от ПРР, так и прикрытия от них основных элементов группировки ПВО ДД (СД) [4,5].

Для оценки возможности огневого поражения ПРР зенитными средствами БД (МД) проведем анализ временных затрат на основные этапы их боевой работы. Оценить дальность до точки встречи ЗУР с ПРР при ее движении с нулевым параметром можно как:

$$D_{ТВ} = V_p \cdot \frac{D_{\max} \sqrt{4 \frac{\sigma_{ВТСП}}{\sigma_{ТЦ}} - V_{ц} \cdot t_{нпс}}}{V_p + V_{ц}}, \quad (1)$$

где  $V_p$  – средняя скорость полета ЗУР;

$\sigma_{ТЦ}$  и  $\sigma_{ВТСП}$  – среднее значение типовой цели и ПРР, соответственно;

$D_{\max}$  – максимальная дальность обнаружения цели;

$V_{ц}$  – средняя скорость полета ПРР;

$t_{нпс}$  – время непосредственной подготовки к стрельбе (время реакции комплекса) [15].

В качестве примера на рис. 3 приведены рассчитанные по (1) характерные участки пространства, соответствующие основным этапам боевой работы ЗРК БД (МД), для следующих исходных данных:  $V_{ц} = 500; 600; 860$  м/с (ПРР типа ALARM; HARM AGM-88C; X-25МП, соответственно); от момента начала обнаружения до подлета ЗУР к точке встречи, при  $\sigma_{втсп} = 0,1м^2$ .

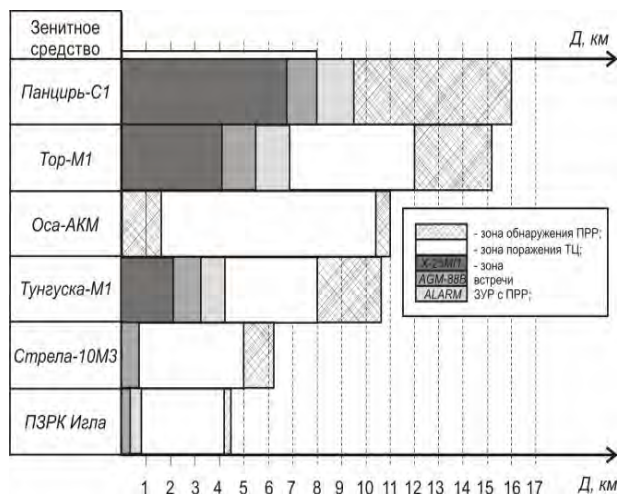


Рис. 3. Характерные участки пространства соответствующие основным этапам боевой работы ЗРК БД и МД при обстреле ПРР

Из представленных на рисунке данных видно, что обстрел ПРР одной ракетой могут обеспечить лишь ЗРК "Панцирь-S1", "Тунгуска", ЗРС "Тор", но и в этом случае повторный пуск ЗУР по цели практически невозможен. Это в первую очередь связано с большим временем реакции зенитных средств, значительную часть которого занимает время полета ЗУР к точке встречи с ПРР и ее обнаружение.

Таким образом, для реализации активных методов борьбы, необходимо решить задачи по сокращению времени обнаружения при массированном применении ПРР и выбору способа их поражения, лишённого указанных недостатков.

Отличием ПРР от других ВТСП является наличие системы самонаведения (СН) на цель, которую возможно рассматривать как отдельный объект поражения.

Речь идет о функциональном поражении (ФП) ПРР под которым обычно понимают [9, 11, 12] воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) на бортовые РЭС, в результате которого происходят необратимые изменения в ее элементах.

Эффектом действия средств ФП на радиоэлектронные составляющие ПРР могут быть:

- невосстанавливаемые отказы РЭС;
- временные отказы РЭС;
- функциональные нарушения работоспособности элементов ПРР, которые характерны при действии помех (ухудшение точности определения координат РЛС ЗРК; ложные срабатывания исполнительных элементов взрывателя, неконтактного датчика цели и др.). В каждом случае ракета теряет способность выполнять задачу.

В нынешнее время сформировалось два направления разработки и использования электромагнитного оружия (ЭМО).

Первое направление предполагает создание и использование средств одноразового применения, на основе взрывомагнитных и других генераторов, реализованных в электромагнитных боеприпасах (Е-бомбы) [9, 11, 12].

Второе – предполагает создание мобильных средств многократного применения на базе генераторов мощного излучения [9]. Зенитным комплексам ЗРК МД и БД в условиях массированного применения ПРР целесообразным может оказаться использование ЭМО функционального поражения многократного применения.

Поскольку уровень боковых лепестков широкополосных антенн ГСН ПРР может достигать -20дБ, то для ФП по боковым лепесткам ГСН необходимо создать напряженность поля в  $10^2$  раз больше чем для ФП по основному лучу ДН. Поэтому излучение средством ФП следует проводить в те интервалы времени, когда имеет место совпадение главных лепестков ДН ГСН ПРР и средства поражения, что требует:

- ориентации основного луча диаграммы направленности (ДН) в направлении ПРР;
- необходимости распознавания ПРР и определение ракурса цели, с учетом малых углов пеленга ГСН.

В качестве наиболее приемлемых для ФП ПРР, можно рассматривать сверхширокополосные (СШП) сигналы ультракороткой длительности, так как они позволяют ослабить такие ограничения, присущие средствам ФП, как:

- повышение пиковой мощности при ограниченной энергии излучения;
- исключение возможности электрического пробоя атмосферы на трассе распространения, связанного с ее ионизацией.

Исходя из вышеизложенных соображений, в состав средств ФП могут входить: устройство формирования мощных ультракоротких электромагнитных импульсов, антенно-фидерная система, система управления антенной, требования к которым должны формироваться с учетом реализуемости на современной элементной базе.

Основная сложность в определении степени поражающего воздействия состоит в определении

энергетических и временных (спектральных) характеристик сигналов на входе уязвимых элементов бортовых РЭС при наперед заданных характеристиках электромагнитного поля, создаваемого средством ФП. Для оценки характеристик сигналов выделяют два основных подхода, отличающихся по механизму проникновения к уязвимым элементам РЭС (рис. 4) [9, 11, 12, 14].

1. Поражающее воздействие проникает в цель через корпус, технологические люки, разъемы, щели и т.д. (т.н. *outdoor*-воздействие). Электромагнитное поле, создаваемое средством ФП, наводит большие токи (волны), которые воздействуют на полупроводниковые элементы бортовых РЭС. Сложность подхода состоит в определении индуцированных токов при дифракции падающих полей на различных элементах ракеты и отверстиях в ее планере. Решения таких задач существенно зависят от таких факторов как: структура падающего поля, компоновка и местоположения планера относительно средства ФП. То есть полученные решения вряд-ли могут быть обобщены на случай всех существенных для практики вариаций указанных факторов.

2. Поражающее воздействие проникает через антенну (т.н. *frontdoor*-воздействие). Поскольку антенно-фидерный тракт разрабатывается для передачи сигналов к элементам бортовых РЭС и, таким образом, является эффективным путем для переноса энергии от электромагнитного оружия на вход уязвимых элементов, то следовательно, требуются меньшие затраты мощности для ФП. Поэтому данный режим можно считать основным при рассмотрении модели поражения системы самонаведения ПРР.

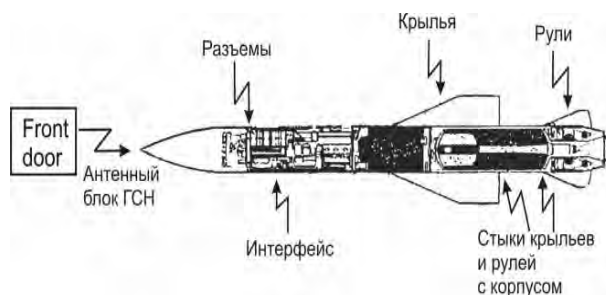


Рис. 4. Пути проникновения поражающего воздействия в бортовую РЭС

Основным элементом системы наведения ПРР является головка самонаведения, которая предназначена для [9]:

- пеленгации РЛС-цели независимо от направления ее основного излучения относительно самолета-носителя ПРР;
- автономного поиска РЛС-цели по направлению, частоте, периоду повторения и длительности импульсов;

– селекции сигналов выбранной РЛС-цели по несущей частоте, периоду прохождения и длительности импульсов, амплитуды и др.;

– повторного поиска и захвата сигналов РЛС-цели при ее потере;

– выдачи в систему управления ПРР экстраполированных угловых координат (и их производных) положения РЛС-цели при кратковременном исчезновении сигналов от РЛС (их пролонгацию).

При поражении ГСН вследствие воздействия на нее ЭМИ, ПРР теряет возможность выполнения боевой задачи. Результатом такого воздействия на входные каскады приемного устройства ГСН может быть деградация наиболее чувствительных к энергетическим перегрузкам или к полемому пробоем радиоэлектронных элементов, таких как смесители, маломощные усилители и элементы специализированных вычислителей (коммутаторы, формирователи тактовых импульсов), которые построены на основе твердотельных полупроводниковых приборах (диоды, транзисторы, микросхемы) [13].

Таким образом, для определения необходимых характеристик сигналов (полей), обеспечивающих функциональное поражение СН ПРР, целесообразно разработать обобщенную модель поражения ГСН, что требует:

– определения типовых уязвимых элементов и характер взаимосвязей между ними по результатам анализа вариантов построения ГСН ПРР;

– выбора подходящих для анализа моделей поражения уязвимых элементов и их взаимосвязей из числа известных.

Кроме ГСН ПРР имеет следующие, подверженные электромагнитному излучению, элементы: автопилот, радиовзрыватель, которые также стоит рассматривать при составлении модели поражения ПРР.

В целом процесс поражения ПРР с помощью ЭМО предусматривает несколько взаимосвязанных этапов, которые целесообразно проводить с помощью многофункциональной РЛС на базе фазированной антенной решетки (ФАР).

Первый этап - это обнаружение и распознавание цели, а также определение ее пространственных координат и параметров движения.

Второй этап - наведение луча и переход системы в режим точного сопровождения цели.

Третий этап предусматривает поражение цели мощным электромагнитным излучением и контроль ее поражения.

## Выводы

1. Из проведенного анализа следует, что боевые возможности ЗРК БД и МД не позволяют эффективно бороться с ПРР при массированном их применении. Это в первую очередь связано с большим временем реакции зенитных средств, значи-

тельную часть которого занимает время полета ЗУР к точке встречи с ПРР и ее обнаружение.

2. В качестве альтернативного способа для борьбы с ПРР, лишённого указанных недостатков, предложен и рассмотрен метод ФП, основным объектом поражения которого является ГСН ПРР.

3. Для исследования возможности ФП ПРР необходимо решение ряда взаимосвязанных задач, состоящих в:

– определении типовых уязвимых элементов и характера взаимосвязей между ними по результатам анализа вариантов построения ГСН ПРР;

– выборе подходящих для анализа моделей поражения уязвимых элементов и их взаимосвязей, из числа известных.

– определении необходимых характеристик сигналов (полей), обеспечивающих функциональное поражение СН ПРР;

– определении требований к характеристикам средств функционального поражения с учетом реализуемости на современной элементной базе.

Это позволит разработать обобщенную модель поражения ГСН ПРР и методику оценки результатов моделирования.

### Список литературы

1. Кибалко И.П. Особенности боевого применения высокоточных средств поражения и способы повышения эффективности борьбы с ними: инф. сб. / И.П. Кибалко; под общ. ред. Ю.Н. Черного. – Минск: ЦВИАИ, 2008. – 102 с.
2. Горчица Г. Боевое применение противорадиолокационных ракет класса "воздух-земля" [Электронный ресурс] / Г. Горчица, А. Локарев. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/other/article/bpprr.html/>.
3. Куликов А. Большие проблемы малой дальности [Электронный ресурс] / А. Куликов. – Режим доступа: <http://newroz.ucoz.ru/blog/2010-01-12-21/>.
4. Фролов Н. Необходима единая система борьбы с воздушным противником. Роль, место и перспективы развития войсковой ПВО [Электронный ресурс] / Н. Фролов. – Режим доступа: <http://www.pro-rvo.ru.>

5. Алексеев П. Состояние и перспективы развития зенитных ракетных комплексов ближнего действия за рубежом. [Электронный ресурс] / П. Алексеев. – Режим доступа: [http://www.webground.su/rubric/2010/08/25/obshhestvo\\_vooruzhennye\\_sily/retro/](http://www.webground.su/rubric/2010/08/25/obshhestvo_vooruzhennye_sily/retro/).

6. Муратов М. ЗРК ПВО Сухопутных Войск часть II / Муратов М. // Техника и вооружение. – № 7. – М.: РОО "Техинформ", 2003. – 210 с.

7. Григорьев А. Современное состояние и перспективы развития авиационных противорадиолокационных ракет стран НАТО / А. Григорьев // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – №3. – С.33–37.

8. Уголок неба: авиационная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.airwar.ru/u./weapon/avz/armiger.html>.

9. Добыкин В.Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев Л.Н. Шустов: под ред. А.И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2007. – 468 с.

10. MANPADS and Surface to air missile [Электронный ресурс] / Air power Australia. – Режим доступа: <http://www.ousairpower.net/sams-iads.html>.

11. Kopp C. The Electromagnetic Bomb – a Weapon of Electrical Mass Destruction / C. Kopp. – Defence Analyst Melbourne – Australia, 2003.

12. Bohl J. High Power Microwave Hazard Facing Smart Ammunitions [Электронный ресурс] / J. Bohl – Режим доступа: <http://ece.unm.edu/summa/notes/SDAN/0035.pdf>.

13. Гомозов А.В. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ / А.В. Гомозов, В.И. Гомозов, Г.В. Ермаков, С.В. Титов: под ред. В.И. Гомозова. – Харьков: КП "Городская типография", 2011. – 330 с.

14. Кравченко В.И. Оружие на нетрадиционных физических принципах: Электромагнитное оружие / Кравченко В.И. – Харьков: Изд-во "НТМТ", 2009. – 266 с.

15. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами / Ф.К. Неупокоев – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.

Надійшла до редколегії 26.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

### ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНИХ РАКЕТ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЗБРОЇ

А.В. Безверхий, О.М. Будур, Г.В. Єрмаков, А.Ф. Шевченко

В статті формулюється й проводиться декомпозиція задачі дослідження одного з можливих способів боротьби з протирадіолокаційними ракетами - функціонального ураження бортових радіоелектронних систем самонаведення.

**Ключові слова:** електромагнітна зброя, функціональне ураження радіоелектронних засобів, система самонаведення протирадіолокаційних ракет.

### PROBLEM DEFINITION OF ELECTROMAGNETIC WEAPON USAGE FOR FUNCTIONAL DEFEAT ANTI-RADAR MISSILE

A.V. Bezverhiy, O.N. Budur, G.V. Ermakov, A.F. Shevchenko

In this article, formulate and decompose research task one of possible method for counteraction against anti-radar missile – functional defeat radioelectronic self-guidance system.

**Key words:** electromagnetic weapon, functional defeat radioelectronic equipment, self-guidance system anti-radar missile.