

УДК: 623.746.-519

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ ПРИ ПРОТИВОДЕЙСТВИИ  
СОВЕРШЕНИЮ ДИВЕРСИОННЫХ АКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ: МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF FORCES  
AND ELECTRONIC WARFARE WHILE COMBATING COMMITTING ACTS  
OF SABOTAGE ON OBJECTS OF INFRASTRUCTURE:  
A METHODOLOGICAL ASPECT**

*Канд. техн. наук Ю.Н. Ярыгин, канд. техн. наук Д.М. Бывших,  
канд. воен. наук П.А. Коробейников*

*PhD Yu.N. Yarygin, PhD D.M. Byvshikh, PhD P.A. Korobeynikov*

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»*

Предложена методика количественной оценки эффективности действий по радиоэлектронной борьбе (РЭБ) с диверсионно-разведывательными группами. За основу принята совокупность информационных, информационно-боевых и боевого показателей сил и средств РЭБ, анализ которых проводится с использованием сочетания экспертного (качественного) и математического (количественного) подходов. Представлен алгоритм определения интегрального (боевого) показателя, основанный на свертке информационных и информационно-боевых показателей с учетом особенностей ведения РЭБ. Методика может являться полезным инструментом для практической оценки эффективности применения сил и средств РЭБ при нейтрализации средствами РЭБ БПЛА противника в ходе диверсионно-разведывательных действий.

**Ключевые слова:** способ применения, силы и средства радиоэлектронной борьбы, формирование территориальных войск, антитеррористические действия, беспилотный летательный аппарат, радиоэлектронное поражение.

A methodology for quantifying the effectiveness of actions on electronic warfare (EW) with sabotage and reconnaissance groups has been proposed. The basis is a set of information, information-combat and combat indicators of electronic warfare forces and means, the analysis of which is carried out using a combination of expert (qualitative) and mathematical (quantitative) approaches. An algorithm for determining an integral (combat) indicator is presented, based on the convolution of information and information-combat indicators, taking into account the peculiarities of electronic warfare. The methodology can be a useful tool for practical assessment of the effectiveness of the use of EW forces and assets when neutralizing enemy UAV EW during sabotage and reconnaissance operations.

**Keywords:** method of application, electronic warfare means and unit, formation of territorial troops, anti-terrorist actions, unmanned aerial vehicle, electronic defeat.

В условиях ведения, так называемой «гибридной» войны [1, 2] против Российской Федерации ожидается масштабное применение

технически оснащенных диверсионно-разведывательных групп (ДРГ), незаконных воинских формирований (НВФ) с целью совершения ди-

версионных акций на объектах инфраструктуры. Результаты анализа возможных террористических угроз этим объектам свидетельствуют о высокой вероятности применения НВФ для совершения диверсионных акций малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), как военного, так и гражданского назначения [3]. С помощью этих БПЛА могут выполняться задачи вскрытия системы обороны критически важных отечественных объектов военной и гражданской инфраструктуры, сбор сведений о режиме их повседневной деятельности, принадлежности и задачах, выдача целеуказания для средств огневого поражения или непосредственная атака ударных БПЛА на защищаемый объект.

Важная роль в ходе специальных мероприятий антитеррористической деятельности (АТД) отводится силам и средствам РЭБ, предназначением которых является противодействие (ПД) комплексам с БПЛА, применяемым в интересах диверсионно-разведывательных групп [4, 5]. При выполнении целого ряда практических задач, связанных с развитием и применением сил и средств РЭБ (выбор рационального варианта состава, оснащение их техникой РЭБ, сопоставление (сравнение) нескольких альтернативных вариантов действий, принятие решения относительно рациональности действий для выполнения тех или иных задач и др.) решающая роль принадлежит оцениванию их эффективности. Однако в настоящее время совершенствованию соответствующего методического аппарата, по мнению авторов, уделяется недостаточное внимание. В условиях динамичного развития системы вооружения войск РЭБ ВС РФ и принятия на снабжение новых образцов техники РЭБ, развитие методического аппарата оценки эффективности применения сил и средств РЭБ в ходе специальных мероприятий АТД представляет собой актуальную научную задачу, решение которой имеет важное практическое значение [6, 7].

Цель статьи авторы видят в разработке возможных методических подходов к оценке эффективности сил и средств РЭБ при ПД комплексам с БПЛА, (далее для краткости — действия по РЭБ с БПЛА) на базе которых получит дальнейшее развитие система обоснования способов применения разнородных сил и средств РЭБ в ходе специальных мероприятий АТД, включающая в том числе методические и информационные ресурсы.

До настоящего времени задача оценивания эффективности действий по РЭБ с БПЛА в ходе специальных мероприятий АТД не имела строго (аналитического) решения. Выбор наиболее рациональных действий по РЭБ с БПЛА различных типов определялся экспертно на основе компетентности лиц, принимающих решение, в зависимости от их субъективных предпочтений.

Для повышения обоснованности принимаемых решений по выбору действий по РЭБ с БПЛА в ходе такой малоизученной формы вооруженной борьбы, как специальные мероприятия АТД, авторами предлагаются два варианта аналитической методики оценки их эффективности, которая позволяет проводить оценки не только по частным и обобщенным, но и интегральному показателям. В качестве последнего, принята вероятность срыва выполнения задачи БПЛА диверсионно-разведывательной группы. Методика является универсальным инструментом методического обеспечения организации применения сил и средств РЭБ на основе сочетания качественного и количественного подходов к оценке эффективности действий по выполнению возлагаемых на них задач. Полезность такой методики состоит в возможности получения адекватных оценок относительно результата совершаемых действий и их важности.

Задача оценки эффективности действий по РЭБ ставится следующим образом. Сформулирована цель действий по РЭБ с БПЛА. Имеется перечень реализуемых частных задач сил и средств РЭБ, которые могут выполняться с привлечением техники РЭБ различных классов, реализующей те или иные виды воздействия на РЭС комплексов с БПЛА. Для выполнения каждой задачи возможно привлечение разнородных средств РЭБ. Необходимо оценить эффективность совокупности действий по РЭБ с помощью привлекаемого комплекта техники РЭБ по интегральному показателю — вероятности срыва выполнения задачи БПЛА ДРГ. Полное определение варианта действий по РЭБ с БПЛА, представляющее собой его «формулу», выглядит следующим образом.

Вариант действий по РЭБ с БПЛА — избранный вариант порядка и приемов ведения РЭБ с БПЛА при защите объекта заданного типа (указывается какого) от ударно-разведывательных действий одиночного (группы) БПЛА (указываются характеристики БПЛА), с задачей

(например, срыва получения на БПЛА команд от наземного пункта управления (НПУ)), путем воздействия (указывается какого) на объекты (наименование РЭС), привлекаемыми средствами (указывается какими), с выбранных позиций (указывается где), для достижения требуемого эффекта ПД комплексу с БПЛА (указывается какого) в период (начало и продолжительность выполнения задачи РЭБ с БПЛА). Некоторые из этих элементов при формулировании варианта действий по РЭБ с БПЛА могут отсутствовать.

Структура интегрального показателя должна учитывать все частные действия по РЭБ и их важность (полезность) с точки зрения влияния на него. Для того чтобы охватить все элементы «формулы» варианта действий по РЭБ этот показатель нуждается в декомпозиции по «вертикали» и «горизонтали». В соответствие с этим, структуру действий сил и средств РЭБ в целях ПД комплексу с БПЛА в условиях заданного типового эпизода (ТЭ) можно представить в виде графа «цель — задачи — действия по РЭБ», приведенного на рис. 1.

На его первом уровне представлена цель действий по РЭБ. В качестве цели выступает достижение заданного эффекта при выполнении задачи ПД комплексу с БПЛА. Эта цель, например, может быть сформулирована, как «предотвращение проникновения БПЛА в воздушное пространство над территорией защищаемого объекта или в пределы зоны его разведдоступности для совершения диверсионной акции». В общем случае эта цель может достигаться комплексным применением сил и средств РЭБ, сил и средств огневого поражения и маскировки.

Вариант формулировки цели выглядит следующим образом: «предотвратить проникновение одиночного разведывательного БПЛА ближнего действия, с высотой полета до 600 метров, скоростью полета до 90 км/ч, типовой продолжительностью патрулирования до 2 часов, с автоматическим пилотированием по заданному маршруту в воздушное пространство над охраняемой территорией вокруг защищаемого точечного объекта (наименование)».

Тогда при достижении этой цели силы и средства РЭБ должны будут выполнить следующие задачи (вариант): вскрыть факт применения, провести технический анализ сигналов в каналах управления и передачи данных, идентифицировать, сопровождать БПЛА в полете, сорвать средствами РЭБ получение на БПЛА команд управления от наземного пункта управления и координатно-временной информации от радионавигационных систем.

На втором уровне представлены задачи, возлагаемые на силы и средства РЭБ, существенные с точки зрения достижения цели действий по РЭБ (декомпозиция цели по «горизонтали»). Этим задачам соответствуют информационно-боевые показатели эффективности их выполнения (табл. 1). Они должны определяться с учетом соблюдения требований к выбору позиций средств РЭБ с точек зрения: обеспечения живучести, эффективности управления и взаимодействия средств РЭБ с другими силами и средствами, возможности применения огневых средств для поражения БПЛА и др.

Объектами воздействия средствами РЭБ являются: приемные устройства (ПрУ) бортовых

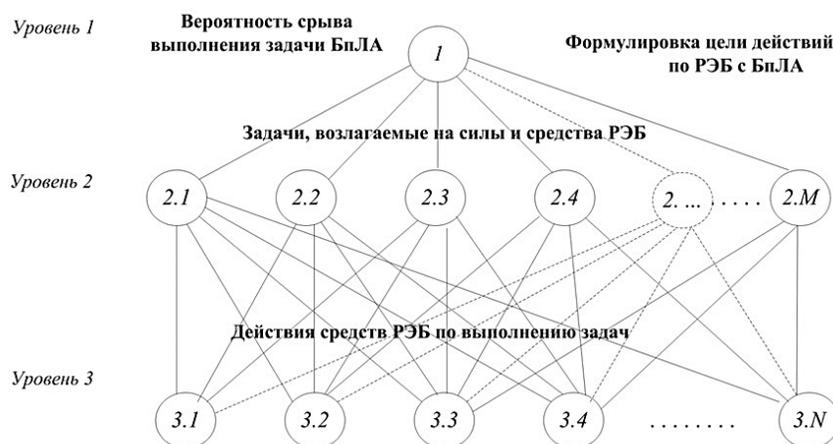


Рис. 1. Структура графа «цель — задачи — действия по РЭБ»

Таблица 1

Задачи сил и средств РЭБ, и показатели эффективности их выполнения (вариант)

Задачи сил и средств РЭБ (информационно-боевые показатели эффективности их выполнения)	Информационные показатели эффективности, характеризующие результат применения средств РЭБ по:
1. Снижение разведдоступности защищаемых объектов от средств радио- и радиотехнической и оптикоэлектронной разведок БПЛА (уменьшение доли вскрытых средствами РРТР и ОЭР БПЛА критически важных элементов объектов)	1. Созданию прицельных радиопомех. 2. Созданию заградительных радиопомех. 3. Искажению технических демаскирующих признаков защищаемых объектов. 4. Созданию радиоизлучений ложных объектов в радио-, радиотехническом и оптическом диапазонах длин волн и др.
2. Ведение технической разведки с целью вскрытия фактов применения, технического анализа сигналов в каналах управления и передачи данных, идентификации, сопровождения БПЛА в полете, определения местоположения НПУ (вероятность правильной идентификации РЭС, размещенных на земной поверхности и летательных аппаратах при заданном времени ведения разведки)	1. Обнаружению факта налета одиночного (группы) БПЛА на максимальной и средней дальностях. 2. Вскрытию рабочих частот каналов управления и применяемых кодов навигационно-временного обеспечения БПЛА. 3. Секторам разведки в вертикальной и горизонтальной плоскостях. 4. Ведению автоматического поиска источников радиоизлучений по частоте. 5. Проведению технического анализа сигналов в автоматизированном режиме. 6. Обнаружению факта подготовки ДРГ к пуску БПЛА. 7. Обнаружению и сопровождению запускаемого БПЛА на маршруте полета и др.
3. Радиоподавление приемных устройств бортовых терминалов передачи данных БПЛА с целью срыва управления полетом и целевыми нагрузками (вероятность радиоподавления радиолиний управления и передачи данных)	1. Радиоподавлению РЭС БПЛА на максимальной и средней дальностях. 2. Радиоподавлению РЭС БПЛА на рабочих частотах каналов управления. 3. Радиоподавлению по секторам в вертикальной и горизонтальной плоскостях. 4. Соответствию видов и параметров радиопомех видам и параметрам сигналов. 5. Времени реакции средств радиоподавления. 6. Искажению траектории полета БПЛА. 7. Парированию мер радиоэлектронной защиты РЭС БПЛА. 8. Количеству одновременно подавляемых частот и др.
4. Подавление радиолиний передачи данных с БПЛА на наземный пункт управления (потребителям информации вне НПУ) (вероятность срыва приема на НПУ разведывательной информации об объекте)	1. Дальности радиоподавления. 2. Диапазонам частот средств радиоподавления. 3. Секторам радиоподавления в вертикальной и горизонтальной плоскостях. 4. Соответствию видов и параметров радиопомех видам и параметрам сигналов. 5. Времени реакции средств радиоподавления. 6. Внедрению ложной информации на НПУ (потребителям информации вне НПУ). 7. Контролю возможности запуска радиомаяка, размещаемого на БПЛА, для наведения управляемого оружия. 8. Радиоподавлению канала передачи текущего видеоизображения и др.

5. Подавление радиолиний передачи телеметрии БПЛА на наземный пункт управления (вероятность срыва приема на НПУ данных телеметрии с БПЛА)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дальности радиоподавления.</li> <li>2. Диапазонам частот средств радиоподавления.</li> <li>3. Секторам радиоподавления в вертикальной и горизонтальной плоскостях.</li> <li>4. Соответствию видов и параметров радиопомех видам и параметрам сигналов.</li> <li>5. Времени реакции средств радиоподавления.</li> <li>6. Внедрению ложной информации на НПУ.</li> <li>7. Парированию мер радиоэлектронной защиты подавляемых РЭС.</li> <li>8. Количеству одновременно подавляемых частот и др.</li> </ol>
6. Подавление приемных устройств аппаратуры потребителей систем радионавигации (вероятность неполучения навигационной информации БПЛА)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дальности радиоподавления (по открытым кодам).</li> <li>2. Диапазонам частот средств радиоподавления.</li> <li>3. Управлению пространственными зонами излучения радиопомех.</li> <li>4. Соответствию видов и параметров радиопомех видам и параметрам сигналов.</li> <li>5. Времени реакции средств радиоподавления.</li> <li>6. Искажению маршрута полета БПЛА.</li> <li>7. Парированию мер радиоэлектронной защиты подавляемых РЭС и др.</li> </ol>

(на БПЛА) терминалов радиолиний управления; ПрУ наземных (на НПУ) терминалов радиолиний передачи разведывательных данных; ПрУ (на НПУ) наземных терминалов радиолиний передачи телеметрической информации; бортовые (на БПЛА) ПрУ аппаратуры потребителей радионавигационных систем; ПрУ наземных (у пользователей вне НПУ) терминалов потребителей развединформации.

Для оценки эффективности выполнения задач силами и средствами РЭБ задаются: типы и количество средств технической разведки и РЭБ, их пропускная способность, размещение этих средств относительно защищаемого объекта, способ управления ими и взаимодействия с другими силами и средствами и др. Исходными данными также являются значения информационных показателей эффективности средств РЭБ.

Эти параметры необходимы для того, чтобы с помощью имеющегося методического аппарата рассчитать информационно-боевые показатели эффективности сил и средств РЭБ при выполнении задач, возлагаемых на них. В качестве исходных данных используется также информация о ТТХ средств РЭБ, поступающая с уровня 3, рис. 1. Кроме того, на втором уровне определяется важность задач, выполняемых силами и средствами РЭБ относительно сформулированной цели действий по РЭБ.

На третьем уровне определяются информационные показатели, характеризующие эффек-

тивность привлекаемых средств РЭБ, при ведении технической разведки и радиоподавления в конфликте «средство технической разведки (радиоподавления) — РЭС комплекса с БПЛА» (табл. 1).

По каждому типовому объекту воздействия средствами РЭБ должен быть задан набор параметров, включающий: виды используемых сигналов, диапазоны рабочих частот РЭС (приема, передачи), ширину полосы сигнала, типы антенн, энергопотенциалы передающих средств, виды модуляции, дистанции связи и др.

По каждому средству РЭБ должен быть задан набор параметров, включающий: дальность радиоразведки и радиоподавления РЭС, энергодоступность, чувствительность разведывательных приемных устройств, диапазоны рабочих частот (разведки, подавления), точность определения координат РЭС комплекса с БПЛА, сектора разведки и радиоподавления, мощность передатчика, вид воздействия, коэффициент усиления антенной системы, способы парирования мер радиоэлектронной защиты подавляемых РЭС, виды помех и др.

Такая декомпозиция цели действий по РЭБ позволяет, двигаясь снизу вверх, последовательно оценить: возможности привлекаемых средств РЭБ по информационным показателям в условиях конфликтного функционирования средств РЭБ и РЭС комплексов с БПЛА с учетом параметров средств РЭБ, важность каждой задачи сил и средств РЭБ

относительно цели обоснования, определить расчетным путем значения информационно-боевых показателей эффективности выполнения каждой задачи сил и средств РЭБ, и затем — интегральный показатель достижения цели действий по РЭБ с БПЛА. Вариант системы основных показателей эффективности, соответствующей графу «цель — задачи — действия по РЭБ» приведен на рис. 2.

На нижнем (третьем) уровне устанавливается зависимость таких информационных показателей, как: электромагнитная и энергетическая доступность, правильная идентификация РЭС БПЛА, своевременность выдачи целеуказания на радиоподавление РЭС БПЛА от пространственных условий применения, частотных, сигнальных характеристик комплексов с БПЛА и временных параметров цикла «разведка-контроль-подавление» средств РЭБ.

Задачей среднего (второго) уровня является определение вида зависимости информационно-боевых показателей, определяющих снижение качества функционирования подсистем комплекса с БПЛА от: применения мер противодействия ведению им разведки, электромагнитной и энергетической доступности РЭС комплекса, возможностей по правильной идентификации РЭС на БПЛА, приема искаженных навигационных данных на борту БПЛА, нарушения приема развединформации и данных телеметрии.

Высший (первый) уровень имеет целью установление зависимости боевого показателя — вероятности срыва выполнения задачи комплексом с БПЛА от выполнения задач силами и средствами РЭБ.

К основным информационным показателям эффективности относятся:

$P_{эмд}$  — вероятность электромагнитной доступности источников радиоизлучений радиолиний управления и передачи данных (РЛУ и ПД) комплексов с БПЛА для средств разведки сил и средств РЭБ;

$P_{иэ}$  — вероятность правильной идентификации передающего корреспондента РЛУ и ПД комплекса с БПЛА средствами разведки сил и средств РЭБ;

$P_{цу}$  — вероятность выдачи целеуказания подсистеме радиопомех с учетом частотной доступности РЭС комплекса с БПЛА;

$P_{эд}$  — вероятность энергетической доступности приемного корреспондента РЛУ и ПД комплекса с БПЛА средствам радиопомех сил и средств РЭБ;

$\tau_{рр}, \tau_{ру}, \tau_{рп}$  — среднее время реакции подсистем разведки, управления, радиопомех сил и средств РЭБ, соответственно.

Основными информационно-боевыми показателями эффективности являются:

$\mathcal{E}_{пдрэр}$  — эффективность мероприятий по противодействию средствам радиоэлектронной разведки (РЭР) на БПЛА, определяемая как уменьшение доли вскрытых средствами РЭР критически важных элементов защищаемых объектов инфраструктуры от общего количества;

$P_{ид}$  — вероятность правильной идентификации РЭС, размещаемых на земле и БПЛА, при заданном времени ведения разведки силами и средствами РЭБ;

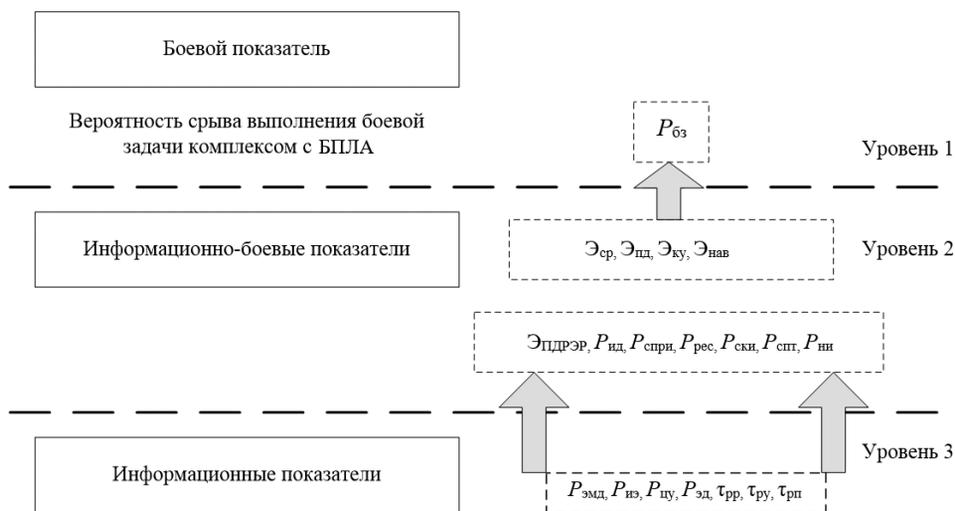


Рис. 2. Показатели эффективности сил и средств РЭБ с БПЛА (вариант)

$P_{\text{спри}}$  — вероятность срыва приема на НПУ информации о защищаемом объекте;

$P_{\text{ски}}$  — вероятность срыва приема командной информации на борту БПЛА;

$P_{\text{рес}}$  — вероятность срыва приема на БПЛА истинных навигационных данных;

$P_{\text{спт}}$  — вероятность срыва приема телеметрической информации на борту БПЛА;

$P_{\text{ни}}$  — вероятность неполучения навигационной информации на борту БПЛА.

$P_{\text{бз}}$  — боевой показатель эффективности — вероятность срыва выполнения боевой задачи комплексом с БПЛА.

В целом, такая трехуровневая система показателей эффективности сил и средств РЭБ позволяет выявить основные закономерности, определяющие влияние характеристик комплекса с БПЛА, сил и средств РЭБ на результаты выполнения ими задач в условиях конфликтного функционирования. Считая, что расчеты эффективности сил и средств РЭБ по радиоразведке и радиоподавлению РЭС БПЛА различных типов с помощью информационных и информационно-боевых показателей проведены, рассмотрим задачу оценки эффективности сил и средств РЭБ по боевому показателю.

Сформулируем ее следующим образом. Для рассматриваемого типового эпизода сформулирована цель, достижение которой возлагается на силы и средства РЭБ. Возможно привлечение

техники РЭБ различных классов, реализующей различные виды воздействия на РЭС комплексов с БПЛА. Сгенерирован вариант действий сил и средств РЭБ по выполнению возлагаемых на них задач в ТЭ. Необходимо оценить его эффективность по боевому показателю — вероятности срыва выполнения задачи комплексом с БПЛА.

Авторами предлагается два подхода к решению этой задачи. Назовем их условно как функциональный и структурный.

### Функциональный подход

В качестве примера рассматривается процесс совершения действий, силами и средствами РЭБ для достижения цели — защиты от радиоэлектронной разведки и поражения компактного развернутого на местности объекта инфраструктуры. Основные из этих действий приведены в табл. 2.

Оценку результирующей эффективности действий сил и средств РЭБ в рассматриваемом ТЭ представим в виде мультипликативной свертки информационно-боевых показателей эффективности выполнения отдельных задач. «Вес» каждой из них определяется коэффициентами  $\gamma_i$ , рассчитываемыми по методике, представленной ниже. Частные показатели эффективности  $\mathcal{E}_i$  определяются с помощью методик расчета информационных и информационно-боевых показателей эффективности сил и средств РЭБ.

Таблица 2

Основные действия сил и средств РЭБ в типовом эпизоде (вариант)

№ п/п	Содержание действий	Эффективность действий
1	Ведение технической разведки с целью обнаружения и сопровождения запускаемого БПЛА ДРГ на траектории полета	$\mathcal{E}_1$
2	Ведение технической разведки с целью вскрытия рабочих частот, применяемых кодов навигационно-временного обеспечения БПЛА, технического анализа сигналов в каналах управления и передачи данных, идентификации БПЛА в полете	$\mathcal{E}_2$
3	Радиоподавление канала приема телеметрической информации с БПЛА на наземном пункте управления	$\mathcal{E}_3$
4	Радиоподавление канала приема текущего видеоизображения с БПЛА на наземном пункте управления	$\mathcal{E}_4$
5	Контроль возможности запуска радиомаяка, размещаемого на БПЛА, для наведения средств поражения на защищаемый объект	$\mathcal{E}_5$
6	Дезориентация БПЛА в пространстве путем срыва средствами РЭБ приема на БПЛА истинных навигационных данных	$\mathcal{E}_6$
7	Радиоподавление канала приема командной информации на борту БПЛА с целью искажения его маршрута полета и срыва управления целевыми нагрузками	$\mathcal{E}_7$

$$P_{\text{бз}} = \prod_{i=1}^7 \mathcal{E}_i^{\gamma_i}, i=1, \dots, 7,$$

где  $P_{\text{бз}}$  — боевой показатель эффективности — вероятность срыва выполнения боевой задачи комплексом с БПЛА;

$\mathcal{E}_i^{\gamma_i}$  — эффективность  $i$ -го действия сил и средств РЭБ по информационно-боевым показателям;

$\gamma_i$  — «вес» (важность)  $i$ -го действия.

### Структурный подход

Комплекс с БПЛА рассматривается как боевая система (БС). Определяется ее эффективность функционирования по показателю «вероятность успешного выполнения задачи» с учетом принципа среднего взвешенного [8] по совокупности ее подсистем (разведки, передачи разведывательных данных, обработки и передачи данных телеметрии, выработки и передачи командной информации, навигационно-временного обеспечения) по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{БС}} = \gamma \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i \mathcal{E}_i^{\gamma_i}}{\sum_{i=1}^n a_i}},$$

где  $\gamma$  — параметр логики усреднения;  $a_i$  — весовые коэффициенты подсистем БС в рамках рассматриваемого ТЭ;  $n$  — число подсистем (число информационно-боевых показателей эффективности подсистем);  $\mathcal{E}_i$  — эффективность  $i$ -ой подсистемы по информационно-боевому показателю.

С помощью весовых коэффициентов  $a_i$  учитывается важность каждой подсистемы в БС. В экспертных методах веса всех показателей эффективности подсистем БС удовлетворяют условию

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1.$$

Вид среднего взвешенного показателя эффективности  $\mathcal{E}_{\text{БС}}$  зависит от параметра логики усреднения  $\gamma$ . Если  $\gamma = -1$ , то вычисляется среднее гармонически взвешенное,  $\gamma = 0$  — среднее геометрически взвешенное,  $\gamma = 1$  — среднее арифметически взвешенное,  $\gamma = 2$  — среднее квадратически взвешенное.

Наиболее удобным для проведения расчетов следует считать среднее гармонически взвешенное значение показателя эффективности БС. Тогда показатель эффективности БС (вероятность успешного выполнения задачи) вычисляется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{БС}} = \frac{1}{\frac{a_1}{\mathcal{E}_{\text{СР}}} + \frac{a_2}{\mathcal{E}_{\text{ПДР}}} + \frac{a_3}{\mathcal{E}_{\text{ПДТ}}} + \frac{a_4}{\mathcal{E}_{\text{КИ}}} + \frac{a_5}{\mathcal{E}_{\text{НАВ}}}}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{СР}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{ПДР}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{ПДТ}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{КИ}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{НАВ}}$  — эффективности функционирования подсистем БС: радио-, радиотехнической и оптико-электронной разведки; передачи разведывательных данных; обработки и передачи данных телеметрии; выработки и передачи командной информации; навигационно-временного обеспечения. Заметим, что в подсистеме разведки каждый вид радиоэлектронной разведки может рассматриваться отдельно. Аналогично при оценке эффективности подсистемы выработки и передачи командной информации раздельно может учитываться процесс ее передачи по каналам УКВ, спутниковой и др. связи.

Функция (1) является строго монотонной, то есть приращение любого из аргументов  $\mathcal{E}_i$  приводит к положительному приращению, что соответствует реальным процессам. Учитывая это свойство функции (1), при выборе концепции определения коэффициентов важности подсистем БС в соответствии с квалиметрией [9] рекомендуется руководствоваться концепцией «положительного влияния». Тогда «вес» подсистемы БС трактуется как коэффициент влияния на составляющую увеличения эффективности БС.

Вероятность срыва выполнения задачи БПЛА определяется по формуле

$$P_{\text{бз}} = 1 - \mathcal{E}_{\text{БС}}. \quad (2)$$

Таким образом, задача оценки эффективности сил и средств РЭБ обладает следующими особенностями. Во-первых, структура интегрального показателя эффективности имеет иерархический характер. Во-вторых, показатели на всех уровнях разнородны. Ряд из них имеет качественный, а ряд — количественный характер. В последнем случае их размерность может быть различной. В силу этих особенностей задачи, из целого ряда

методов, применяемых для решения многокритериальных задач (теории полезности, математического программирования, анализа иерархических структур и др.), наиболее целесообразным является метод анализа иерархий [8], поскольку он наиболее адекватно учитывает специфику поставленной задачи и позволяет проводить оценки не только по разнородным показателям в сопоставимом виде, но и по показателям, имеющим иерархическую структуру.

Следующим этапом, в соответствии с методом анализа иерархий, является определение весовых коэффициентов  $\gamma_i$  действий сил и средств РЭБ (при функциональном подходе) и «весов»  $a_i$  подсистем БС (при структурном подходе).

Для первого подхода на основе попарных сравнений действий сил и средств РЭБ с использованием 9-ти бальной шкалы Т. Саати [8] сформирована матрица сравнений. На основе усредненных мнений семи ведущих экспертов в области РЭБ и применения БПЛА получаем

$$\hat{M}_1 = \begin{pmatrix} \text{Действие} & \Theta_1 & \Theta_2 & \Theta_3 & \Theta_4 & \Theta_5 & \Theta_6 & \Theta_7 \\ \Theta_1 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/4 & 1/5 & 1/5 \\ \Theta_2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1/2 & 1/4 & 1/4 \\ \Theta_3 & 2 & 1/2 & 1 & 3 & 4 & 5 & 7 \\ \Theta_4 & 2 & 1 & 1/3 & 1 & 3 & 4 & 6 \\ \Theta_5 & 4 & 2 & 1/4 & 1/3 & 1 & 2 & 2 \\ \Theta_6 & 5 & 4 & 1/6 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ \Theta_7 & 5 & 4 & 1/7 & 1/6 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Аналогичным образом для рассматриваемого ТЭ был сформирован вариант матрицы сравнений важности подсистем комплекса с БПЛА

$$\hat{M}_2 = \begin{pmatrix} \text{Подсистемы} & \Theta_{41} & \Theta_{42} & \Theta_{43} & \Theta_{44} & \Theta_{45} \\ \Theta_{41} & 1 & 1/5 & 1/2 & 1/4 & 1/3 \\ \Theta_{42} & 5 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ \Theta_{43} & 2 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ \Theta_{44} & 4 & 1/2 & 5 & 1 & 5 \\ \Theta_{45} & 3 & 1/3 & 5 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Далее определяются «весовые коэффициенты»  $\lambda_i$ , которые являются собственными значениями матриц и образуют собственные векторы  $\bar{\lambda}_i$ .

В общем случае собственный вектор может рассчитываться в соответствии с известной итерационной процедурой. Однако, как показывает опыт решения военно-технических задач, с помощью этого метода с достаточной для практики точностью, координаты векторов  $\bar{\lambda}_i$ , можно определить по формуле:

$$\lambda_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}, \quad (3)$$

где  $b_{ij}$  — численные значения элементов соответствующих матриц;  $n$  — число действий (количество подсистем в комплексе с БПЛА) (для матрицы  $\hat{M}_1$ ,  $n = 7$ , для матрицы  $\hat{M}_2$ ,  $n = 5$ ).

Выполнив необходимые вычисления согласно (3), получаем следующую таблицу параметров  $\lambda_i$  для каждой матрицы, табл. 3.

Определим боевой показатель эффективности применения сил и средств РЭБ с помощью этих двух подходов для условного примера. По-прежнему считаем, что расчеты по информационным и информационно-боевым показателям выполнены.

Таблица 3

Значения собственных векторов матриц  $\hat{M}_1, \hat{M}_2$

Подход к решению задачи	Значения собственных векторов матриц						
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_5$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$
Функциональный	0,03	0,09	0,25	0,24	0,13	0,15	0,11
	$\lambda_2$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_5$	$\lambda_5$	—	—
Структурный	0,15	0,31	0,13	0,29	0,21	—	—

### Функциональный подход

По предложению участвующих в формировании исходных данных экспертов и учете имеющегося опыта применения БПЛА рассматривались два случая. В первом из них эффективность совершаемых действий средств РЭБ высокая, во втором — низкая.

Для первого случая:

$$\begin{aligned} \Theta_{11} &= 0,8; \Theta_{12} = 0,7; \Theta_{13} = \\ &= \Theta_{14} = \Theta_{15} = 0,8; \Theta_{16} = 0,7; \Theta_{17} = 0,8. \end{aligned}$$

Для второго случая:

$$\begin{aligned} \Theta_{21} &= 0,5; \Theta_{22} = 0,4; \Theta_{23} = \\ &= \Theta_{24} = \Theta_{25} = 0,5; \Theta_{26} = 0,3; \Theta_{27} = 0,5. \end{aligned}$$

Используя данные табл. 3, получаем

$$\begin{aligned} P_{\text{б31(1)}} &= 0,8^{0,25+0,05+0,07+0,11+0,21} \times 0,7^{0,15+0,15} = \\ &= 0,8^{0,69} \times 0,7^{0,3} = 0,75; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{б31(2)}} &= 0,5^{0,25+0,05+0,07+0,11+0,21} \times 0,4^{0,15} \times 0,3^{0,15} = \\ &= 0,5^{0,69} \times 0,4^{0,15} \times 0,3^{0,15} = 0,44. \end{aligned}$$

Как и следовало ожидать, результирующая эффективность действий сил и средств РЭБ при более качественном выполнении основных действий оказывается выше.

### Структурный подход

Рассматривается также два случая. В первом из них эффективность функционирования подсистем БС низкая, во втором — высокая.

Для первого случая:

$$\begin{aligned} \Theta_{11} &= 0,3; \Theta_{12} = \Theta_{13} = 0,4; \\ \Theta_{14} &= 0,3; \Theta_{15} = 0,2. \end{aligned}$$

Для второго случая:

$$\begin{aligned} \Theta_{21} &= 0,9; \Theta_{22} = \Theta_{23} = 0,8; \\ \Theta_{24} &= 0,9; \Theta_{25} = 0,7. \end{aligned}$$

Используя данные табл. 3, получаем

$$\Theta_{\text{бС1(1)}} = \frac{1}{\frac{0,15}{0,3} + \frac{0,31}{0,4} + \frac{0,13}{0,4} + \frac{0,29}{0,3} + \frac{0,21}{0,2}} = 0,27,$$

$$\Theta_{\text{бС1(2)}} = \frac{1}{\frac{0,15}{0,9} + \frac{0,31}{0,8} + \frac{0,13}{0,8} + \frac{0,29}{0,9} + \frac{0,21}{0,7}} = 0,75.$$

Тогда с учетом (2) получаем

$$P_{\text{б31(1)}} = 1 - 0,27 = 0,73;$$

$$P_{\text{б31(2)}} = 1 - 0,75 = 0,25.$$

То есть вероятность срыва выполнения боевой задачи комплексом с БПЛА ДРГ за счет применения сил и средств РЭБ при заданных исходных данных в первом случае достаточно высокая, во втором — неудовлетворительная.

Таким образом, впервые предложена экспертно-аналитическая методика количественной оценки эффективности применения сил и средств РЭБ при противодействии совершенным незаконными воинскими формированиями диверсионных акций на объектах инфраструктуры, которая может рассматриваться как элемент общей методологии оценки эффективности перспективных систем РЭБ различного уровня.

Методика может применяться в двух вариантах, реализующих функциональный или структурный подходы к расчету боевого показателя эффективности сил и средств РЭБ. Первый подход основывается на свертке эффективностей действий с учетом их важности разнородных сил и средств РЭБ по вскрытию факта подготовки и применения диверсионной акции на объектах инфраструктуры и радиоэлектронному поражению РЭС комплексов с БПЛА диверсионно-разведывательных групп, второй — на свертке эффективностей подсистем комплексов с БПЛА, выполняющих свои задачи в условиях РЭБ, с учетом их важности. Расчет важности действий сил и средств РЭБ при первом подходе и подсистем комплексов с БПЛА ДРГ при втором, осуществляется по методу анализа иерархий.

Предложенная методика является инструментом поддержки принятия обоснованных решений на применение сил и средств РЭБ при априорном согласовании основных исходных данных, включающих учет основных факторов применения БПЛА в интересах диверсионно-разведыватель-

ных действий противника и действия по их нейтрализации средствами РЭБ. Результаты расчета показателей подтверждают работоспособность и адекватность предложенной методики количественной оценки эффективности применения сил и средств РЭБ в ходе обеспечения специальных мероприятий антитеррористической деятельности территориальных войск ВС РФ.

### Литература

1. Бартош А.А. «Трение» и «износ» гибридной войны // Военная Мысль. 2018. № 1. С. 5–13.
2. Гареев М.А. Характер будущих войн [Электронный ресурс] // Право и безопасность. 2003. № 1–2 (6–7). URL: [http://dpr.ru/pravo/pravo\\_5\\_4.htm](http://dpr.ru/pravo/pravo_5_4.htm) (дата обращения: 13.02.2018).
3. Егурнов В.О., Ильин В.В., Некрасов М.И., Сосунов В.Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. №1–2 (115–116). С. 51–58.
4. Коробейников П.А., Бывших Д.М., Ярыгин Ю.Н. К вопросу обоснования способов применения подразделения радиоэлектронной борьбы по задачам антитеррористической деятельности формирования территориальных войск: методический аспект // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 5–6 (131–132). С. 8–16.
5. Коробейников П.А., Бывших Д.М., Ярыгин Ю.Н. Выбор рационального состава и способов применения подразделения радиоэлектронной борьбы формирований территориальных войск: методический аспект // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 5–6 (143–144). С. 66–73.
6. Коробейников А.С., Холуенко Д.В., Пасичник С.И. Эффективность группировки войск радиоэлектронной борьбы в ходе комплексного поражения информационно-управляющей системы противника // Военная мысль. 2015. № 8. С. 30–34.
7. Донсков Ю.Е., Ласточкин Ю.И., Козирацкий Ю.Л., Морареску А.Л. Боевое применение войск радиоэлектронной борьбы как составная часть оперативного искусства объединения Сухопутных войск // Военная мысль. 2017. № 9. С. 18–25.

8. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. — М.: Радио и связь. 1991. 224 с.

9. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков и структур. — М.: Статистика. 1980. 319 с.

### References

1. Bartosh A.A. «Friction» and «wear» of hybrid war // Military thought. 2018. № 1. P. 5–13.
2. Gareev M.A. the Nature of future wars [Electronic resource] // Law and security. 2003. № 1–2 (6–7). URL: [http://dpr.ru/pravo/pravo\\_5\\_4.htm](http://dpr.ru/pravo/pravo_5_4.htm) (date accessed: 13.02.2018).
3. Egunov V.O., Ilyin V.V., Nekrasov M.I., Sosunov V.G. Analysis of methods of counteraction to unmanned aerial vehicles to ensure the safety of protected objects // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2018. № 1–2 (115–116). P. 51–58.
4. Korobeynikov P.A., Byvshikh D.M., Yarygin Yu.N. To the question of justification of methods of application of division of radio-electronic fight on tasks of anti-terrorist activity of formation of territorial troops: methodical aspect // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2019. № 5–6 (131–132). P. 8–16.
5. Korobeynikov P.A., Byvshikh D.M., Yarygin Yu.N. The choice of rational composition and methods of application of electronic warfare units formation of territorial troops: methodological aspect // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2020. № 5–6 (143–144). С. 66–73.
6. Korobeynikov A.S., Kholuenko D.V., Pasichnik S.I. Efficiency of groups of troops of radio-electronic fight during complex defeat of information control system of the opponent // Military thought. 2015. № 8. P. 30–34.
7. Donskov Yu.E., Lastochkin Yu.I., Koziratsky Yu.L., Morarescu A.L. Combat use of electronic warfare troops as an integral part of the operational art of uniting Land forces // Military thought. 2017. № 9. P. 18–25.
8. Saati T., Kearns K. Analytical planning. Organization of systems / TRANS. with English. — М.: Radio and communication. 1991. 224 p.
9. Mirkin B.G. Analysis of qualitative features and structures. — М.: Statistics. 319 p.