

УДК 621.396.6

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-32-44

**Обоснование выбора недоминируемых вариантов импульсных источников электромагнитной энергии**

**В. В. Козлов**, доктор технических наук, профессор, Черноморское высшее военно-морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь, Россия

**Т. В. Зонтова**, кандидат технических наук, Черноморское высшее военно-морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь, Россия

*Основой электромагнитных боеприпасов является источник мощных электромагнитных импульсов. Современные системы генерации мощных электромагнитных излучений имеют энергетические возможности, которые обеспечивают выведение из строя радиоэлектронных средств на расстояниях от сотен метров до десятков километров.*

*В настоящее время в связи с развитием высокоточных систем доставки излучателя мощных электромагнитных излучений появились новые возможности для электромагнитных боеприпасов, воздействующих на электронные устройства и средства связи противника. Электромагнитные боеприпасы относятся к боеприпасам избирательного действия, которые формируют мощные электромагнитные импульсы для функционального поражения (вывода из строя) чувствительных элементов радиоэлектронных средств, входящих в ракетные и авиационные комплексы. Ракетные и авиационные комплексы как основные ударные средства представляют собой совокупность разнородных типовых легкоуязвимых целей с элементами радиоэлектронных средств, к которым можно отнести пусковые установки с ракетами наземного и морского базирования, летательные аппараты (самолеты и вертолеты) на стоянках и палубах надводных кораблей, радиотехнические, навигационные радиолокационные станции, станции спутниковой системы связи, управления и др.*

*В этом аспекте действие электромагнитных боеприпасов имеет важное военное значение, так как может привести к необратимому повреждению широкого спектра электрического и электронного оборудования вооружения и военной техники.*

*Данная работа посвящена обоснованию и выбору недоминируемых вариантов импульсных источников электромагнитной энергии, которые потенциально могут быть использованы в качестве генераторов источников мощных электромагнитных импульсов.*

*В статье рассмотрена модель согласования решений с использованием коэффициентов весомости показателей качества объектов на примере сравнения вариантов импульсных источников электромагнитной энергии.*

**Ключевые слова:** оружие, поражение, энергия, излучение, многофакторность, электромагнитные боеприпасы.

**Введение**  
**Т**ехнический прогресс обуславливает постоянное изменение характера военных угроз и военных конфликтов. Например, в Военной доктрине Российской Федерации, утвержденной Президентом Российской Федерации 25 декабря 2014 г. в числе характерных черт современных военных конфликтов назван ряд, ранее не упоминавшихся (Военная доктрина РФ, утв. Президентом РФ 25 декабря 2014 г.):

– массированное применение систем вооружения и военной техники, высокоточного, гиперзвукового оружия, средств радиоэлектрон-

ной борьбы, оружия на новых физических принципах, сопоставимого по эффективности с ядерным оружием, информационно-управляемых систем, а также беспилотных летательных и автономных роботизированных образцов вооружения и военной техники;

– воздействие на противника на всю глубину его территории одновременно в глобальном информационном пространстве, воздушно-космическом пространстве, на суше и на море;

– избирательность и высокая степень поражения объектов, быстрота маневра войсками (силами) и огнем, применение различных мобильных группировок войск (сил);

– сокращение временных параметров подготовки к ведению военных действий;

– повышение оперативности управления в результате перехода от строго вертикальной системы управления к глобальным сетевым автоматизированным системам управления войсками (силами) и оружием.

Наряду с применением боеприпасов разрушительного (фугасного, осколочного, кумулятивного, ударного) и зажигательного действия успешно разрабатываются электромагнитные боеприпасы, построенные на новых физических принципах [1–3]. Электромагнитные боеприпасы относятся к боеприпасам избирательного действия, которые формируют мощные электромагнитные излучения для функционального поражения (вывода из строя) чувствительных элементов радиоэлектронных средств системы высокоточного оружия (Оружие и технологии России : энциклопедия. XXI век. Т. 12. Боеприпасы и средства поражения. М. : Оружие и технологии, 2006).

Создание оружия на новых физических принципах – один из безусловных приоритетов госпрограммы вооружения. Тема радиоэлектронной борьбы в военно-технической стратегии российского военного ведомства отражена в Госпрограмме вооружений до 2028 г., где около 15 % выделенных средств планируется направить на разработку и производство систем нападения и защиты использующихся источников электромагнитного излучения [4–6].

Данное исследование посвящено выбору и обоснованию недоминируемых вариантов с использованием коэффициентов весомости показателей качества объектов на примере сравнения вариантов импульсных источников электромагнитной энергии. Цель исследования – определить множество недоминируемых вариантов импульсных источников энергии электромагнитных боеприпасов для дальнейших исследований [7, 8].

#### **Используемые подходы и исходные требования**

Анализ боевых действий последних десятилетий показывает, что важнейшим компонентом огневой мощи вооруженных сил передовых стран мира становится высокоточное оружие [9, 10].

В настоящее время объектами массированного применения высокоточного оружия в обычном снаряжении являются прежде всего объекты ракетных и авиационных комплексов, которые считаются потенциальными носителями ядерного оружия.

Как показывает опыт боевого применения обычных средств поражения в локальных конфликтах, поражение объектов ракетных и авиационных комплексов наземного и морского базирования обеспечивает стратегическое превосходство в современной войне [11, 12].

Объекты ракетных и авиационных комплексов наземного и морского базирования, к которым можно отнести пусковые установки с ракетами различного класса, летательные аппараты (самолеты и вертолеты), многоцелевые автомобили, автомобили фургонного типа, радиолокационные станции различного назначения, станции спутниковой системы связи, управления и др., при известном их местоположении представляют собой совокупность разнородных типовых легкоуязвимых целей.

На современном этапе известные виды электромагнитного оружия по принципу генерации электромагнитных излучений делятся на образцы, созданные с использованием генераторов импульсного излучения высокой интенсивности, и радиочастотные электромагнитные боеприпасы [13, 14].

Основным преимуществом генераторов импульсного излучения высокой интенсивности является высокий уровень энергетических характеристик мощных электромагнитных излучений. К недостаткам генераторов импульсного излучения высокой интенсивности можно отнести большие массогабаритные показатели, достаточно узкий диапазон частот и потребность в мощных импульсных источниках питания, что значительно сужает область применения такого рода оружия. Одним из путей совершенствования электромагнитного оружия и расширения области его использования является значительное снижение массогабаритных показателей при применении радиочастотных боеприпасов, построенных на основе взрывных, пьезоэлектрических, ферромагнитных и импловивных генераторов частоты. К существенным недостаткам данных образцов вооружения можно отнести низкий уровень энергетического воздействия на чувствительные элементы системы и узкий диапазон частот генерируемого электромагнитного излучения.

Повысить энергию генерируемого электромагнитного излучения до уровня поражения радиоэлектронного средства и расширить диапазон воздействия на ее элементы радиочастотными боеприпасами возможно при совмещении (комбинировании) нескольких взрывомагнитных генераторов, созданных на различных физических принципах. Однако отсутствие осно-

вополагающих данных теоретических и экспериментальных исследований не позволяет оценить их основные характеристики.

Существующие радиочастотные боеприпасы по характеристикам генерируемых излучений не могут оказывать поражающее воздействие на современные радиоэлектронные средства. Это связано с тем, что существующие методики генерации мощного электромагнитного излучения не способны сформировать необходимые амплитудно-временные и частотные характеристики электромагнитного воздействия, приводящего к функциональному поражению чувствительных элементов радиоэлектронных средств. С другой стороны, разработка электромагнитного боеприпаса, способного обеспечить функциональное поражение радиоэлектронных средств, требует усовершенствования методик генерации мощного электромагнитного излучения на основе явлений компрессии и выталкивания магнитного поля энергией взрывчатых веществ.

Новые возможности для электромагнитных боеприпасов, воздействующих на электронные устройства и средства связи противника, появились благодаря развитию высокоточных систем доставки излучателя к мишени, что снимает основную проблему недостаточного радиуса действия электромагнитного импульса. В этом аспекте действие электромагнитного излучения имеет военное значение, так как может привести к необратимому повреждению широкого спектра электрического и электронного оборудования, особенно компьютеров и радио- или радарных приемников, не оказывая при этом фатального воздействия на людей.

В зависимости от стойкости электронного и электрического оборудования к воздействию электромагнитного излучения и интенсивности генерируемого электромагнитного поля устройство может быть необратимо повреждено, другими словами, его электрическая система будет уничтожена [15, 16].

Технологическая база, которая может быть применена к разработке электромагнитного оружия нелетального действия, разнообразна и вполне отработана во многих областях. Ключевые технологии, существующие в области разработки электромагнитного оружия, – это генераторы со сжатием потока при помощи энергии взрывчатого вещества (explosive pumped Flux Compression Generators – FCG), магнетогидродинамические генераторы (explosive or propellant driven Magneto-Hydrodynamic (MHD) generators), использующие энергию

взрывчатого или порохового заряда, и целый набор микроволновых устройств высокой мощности (IPM Devices), из которых наиболее известен осциллятор с виртуальным катодом (Virtual Cathode Oscillator – Viricator). В этих технологических областях был испытан широкий набор экспериментальных образцов и имеется значительное количество публикаций в открытой литературе [17–19].

Основные требования к такому виду оружия:

- системы электромагнитного вооружения должны иметь мощные источники излучения для обеспечения необходимого уровня энергетического воздействия на цель, достаточного для вывода из строя радиоэлектронных средств противника;

- электромагнитное оружие должно иметь такие массогабаритные характеристики, чтобы его можно было размещать на мобильных носителях (например, ракетах, артиллерийских боеприпасах, беспилотных летательных аппаратах и т. д.);

- для электромагнитного излучения необходимо иметь антенную систему ограниченных размеров, отвечающую требованиям мощной излучающей системы и способную выдерживать высокие значения по токам и напряжениям.

Анализ современных мощных электромагнитных систем генерации показал, что для современных электромагнитных систем вооружения в качестве источников питания часто используются взрывомагнитные генераторы.

### Материалы и методы

Модель согласования и отбора лучших вариантов импульсных источников энергии представляет собой ряд последовательных этапов, обеспечивающих отбор подмножества недоминируемых вариантов и выявление лучших (лучшего). При оценке технического уровня используется аналитический метод определения весовых коэффициентов показателей качества. Отбор недоминируемых вариантов необходим для проведения дальнейшей процедуры расчета коэффициентов близости отобранных вариантов к эталону с помощью теории распознавания образов или кластерного анализа.

### Выбор оптимального импульсного источника электромагнитной энергии, необходимого для генерирования мощного электромагнитного излучения с целью функционального поражения РЭС

Направление, получившее название «функциональное подавление», или «поражение радиоэлектронных средств» (Патент на полезную модель RU 191879, 26.08.2019; Патент на полез-

ную модель RUS 179760 25.05.2018) предусматривает создание боевых средств с источниками электромагнитного излучения, энергетические возможности которых обеспечивают выведение из строя радиоэлектронных средств на расстояниях от сотен метров до десятков километров.

Общий принцип построения систем оружия направленной энергии приведен на рис. 1.

Достаточно мощный источник электромагнитного излучения может быть создан с помощью импульсных источников энергии (табл. 1) [20, 21].

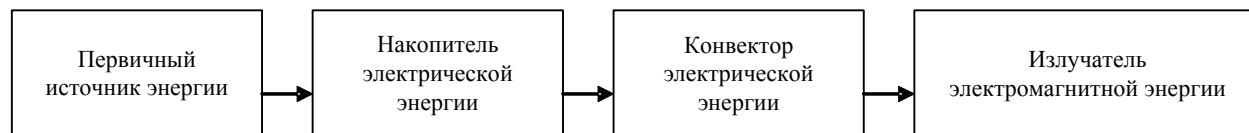


Рис. 1. Общий принцип построения систем оружия направленной энергии

Fig. 1. General principle of building directed energy weapon systems

Таблица 1. Основные характеристики импульсных источников энергии

Table 1. Main characteristics of pulsed energy sources

Тип источника	Энергия, МДж	Мощность, $10^{12}$ Вт	Рабочее напряжение, МВ	Ток, МА	Время разряда, с	Режим работы	КПД, %
Емкостный накопитель	1	1	0,1...10	1	$10^{-7}...10^{-3}$	частотный	40...80
Индуктивный накопитель	100	1...10	1	1	$10^{-7}...10^{-4}$	однократный частотный	40...60
Магнитокумулятивный генератор	100	1...10	0,1...10	10...100	$10^{-6}...10^{-4}$	однократный	5...7
Взрывной МГД генератор	0,1	$10^{-2}$	$10^{-3}$	0,1	$10^{-4}...10^{-3}$	однократный	5...7
Ударный синхронный генератор	500	$10^{-3}$	$10^{-2}$	0,1	1	частотный	40
Ударный униполярный генератор	500	$10^{-3}$	$10^{-4}$	1...10	0,05...1	частотный	95
Компрессорный генератор	10	$10^{-3}$	$10^{-2}$	0,1	$10^{-3}...10^{-2}$	частотный	50
Аккумуляторная батарея	5	–	$10^{-4}$	0,5	1	частотный	0,5...10

Эффективность применения таких импульсных источников при создании электромагнитного импульсного излучения для целей функционального поражения радиоэлектронных средств определяется следующими основными требованиями:

- высокие удельные энергетические характеристики, дающие возможность их размещения в средствах доставки к поражаемому объекту;
- простота и надежность в работе;
- относительно низкая стоимость по сравнению со стоимостью поражаемого объекта;
- возможность изменения амплитудно-временных характеристик излучаемого импульса в широких пределах.

Как следует из приведенных данных, наиболее предпочтительными для создания оружия направленной энергии являются системы с наибольшими предельными параметрами – большой мощностью импульса в нагрузке, высокой запасаемой энергией, напряжением и силой тока.

Однако использование напрямую импульсных источников энергии в качестве оружия направленной энергии неэффективно, так как они

сами по себе не позволяют получить импульсы сверхвысокочастотного поля (рис. 2).

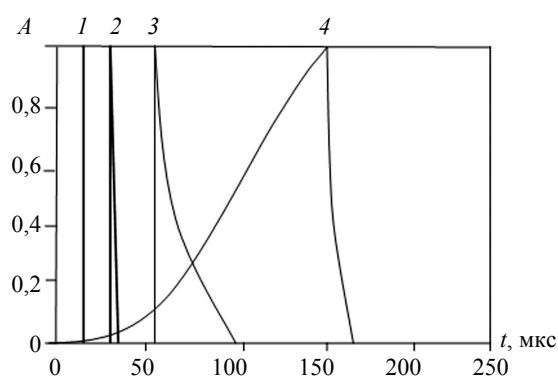


Рис. 2. Сравнительные формы импульсов от источников функционального поражения РЭС: 1 – микроволновое оружие; 2 – электромагнитный импульс ядерного взрыва; 3 – грозовой электромагнитный импульс; 4 – магнитокумулятивный генератор

Fig. 2. Comparative forms of impulses from sources of functional damage to RES: 1 - microwave weapons; 2 - electromagnetic pulse of a nuclear explosion; 3 - lightning electromagnetic pulse; 4 - magnetocumulative generator

Преобразование химической энергии взрывчатых веществ или электрической энергии накопителей в энергию электромагнитного излучения происходит при работе импульсных источников энергии на соответствующую нагрузку – излучатель электромагнитной энергии.

Технические принципы и решения, которые могут быть положены в основу разработки и создания электромагнитного оружия направленной энергии, являются достаточно разнообразными и реализуемыми в практическом аспекте [Патент на полезную модель RU 191879, 26.08.2019; Патент на полезную модель RUS 179760 25.05.2018].

Для построения модели генерации и мощного электромагнитного излучения в комбинированной структуре рассмотрим и выберем оптимальный вариант импульсных источников электромагнитной энергии по совокупности тактико-технических характеристик.

Одним из важных этапов при оценке качества вариантов является определение весовых коэффициентов.

Выберем аналитический метод, для которого не требуется дополнительной информации к тому, что содержится в самих значениях показателей и допустимых областях их применения. В качестве ограничений примем минимальное и максимальное значения  $j$ -го показателя качества [22–24]:

$$x_j^* \leq x_{rj} \leq x_j^{**}, \quad (1)$$

где  $x_j^*$  – нижнее значение  $j$ -го показателя качества;  $x_j^{**}$  – верхнее значение  $j$ -го показателя качества;  $r$  – номер варианта образца.

Если принять, что влияние показателя на количество обратно пропорционально величине его колебаний в области (1), то коэффициенты значимости могут быть найдены из соотношения

$$\varphi = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{1 - \frac{x_j^*}{x_j^{**}}}} \cdot \frac{1}{x_j^{**}}. \quad (2)$$

В табл. 1 представлены основные характеристики импульсных источников энергии. Исходя из данных табл. 1, осуществим выбор рационального варианта.

$$P = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{matrix} \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \\ 1 & 1 & 5,05 & 1 & 0,0005 & 0 & 60 \\ 100 & 10 & 1 & 1 & 0,00005 & 2 & 50 \\ 100 & 10 & 5,05 & 55 & 0,00005 & 1 & 6 \\ 0,1 & 0,01 & 0,001 & 0,1 & 0,00055 & 1 & 60 \\ 500 & 0,001 & 0,01 & 0,1 & 1 & 0 & 40 \\ 500 & 0,001 & 0,0001 & 5,05 & 0,525 & 0 & 95 \\ 10 & 0,001 & 0,01 & 0,1 & 0,0055 & 0 & 50 \\ 5 & 0,000005 & 0,0001 & 0,5 & 1 & 0 & 5,25 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Определим значения весовости показателей качества, используя аналитический метод с применением формулы (2).

Ниже приведены значения нормированных весовых коэффициентов:

$$\overline{\varphi}_1 = 0,141649565; \quad \overline{\varphi}_2 = 0,141621306;$$

$$\overline{\varphi}_3 = 0,14162404; \quad \overline{\varphi}_4 = 0,141879198;$$

$$\overline{\varphi}_5 = 0,14169917; \quad \overline{\varphi}_6 = 0,141621235;$$

$$\overline{\varphi}_7 = 0,149905486.$$

Модель согласования и отбора лучших вариантов импульсных источников энергии представляет собой ряд последовательных этапов, обеспечивающих отбор подмножества недоминируемых вариантов и выявление лучших (лучшего). Она включает определение нормализованной матрицы, матрицы решений, множества согласия и несогласия, матрицы согласия, матрицы несогласия, доминирующей матрицы согласия, доминирующей матрицы несогласия, агрегированной матрицы доминирования и удаление менее предпочтительных вариантов.

#### Определение нормализованной матрицы

Таблицу 1 представим в виде матрицы принятия решений  $P = (x_{ij})$ :

$$P = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{vmatrix},$$

где  $a_1, \dots, a_m$  – сравниваемые варианты;  $x_1, \dots, x_n$  – показатели качества;  $x_{11}, x_{mm}$  – значения показателей качества ( $\forall_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ ).

В нашем случае рассматривается восемь вариантов импульсных источников энергии  $a_1, \dots, a_8$ . Каждый из вариантов характеризуется семью однотипными показателями качества  $x_1, \dots, x_7$ :

С использованием формул (4)–(6) осуществим процедуры нормализации и трансформации при максимизируемых и минимизируемых показателях:

– процедура нормализации

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (4)$$

– процедура трансформации при максимизируемых показателях

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{**}}; \quad (5)$$

– процедура трансформации при минимизируемых показателях

$$\bar{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{**}}; \quad (6)$$

где  $x_j^{**} = \max x_{ij}$ ;  $\bar{x}_{ij} \in [0, 1]$ ;  $(\forall_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$ ;

$\bar{x}_{ij}$  – безразмерный  $j$ -й показатель  $i$ -го варианта импульсного источника энергии.

Такие показатели, как энергия,  $x_1$ , МДж; мощность,  $x_2$ ,  $10^{12}$  Вт; ток,  $x_4$ , МА; режим ра-

боты,  $x_6$ ; КПД,  $x_7$ , %, относятся к максимизируемым показателям. Для получения безразмерных показателей  $x_1, x_2, x_4, x_6, x_7$  используем формулы (4) и (5). Показатели  $x_3$  (рабочее напряжение, МВ) и  $x_5$  (время разряда, с) относятся к минимизируемым параметрам, в этом случае используем для получения безразмерных показателей формулу (6).

С применением этих процедур матрицу (3) преобразуем в нормализованную матрицу  $\bar{P}$  вида

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \dots & \bar{x}_n \\ a_1 \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ a_2 \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{pmatrix},$$

где  $\bar{x}_{11}, \dots, \bar{x}_{mn}$  – элементы матрицы (безразмерные значения показателей качества).

В нашем случае имеем:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \bar{x}_3 & \bar{x}_4 & \bar{x}_5 & \bar{x}_6 & \bar{x}_7 \\ a_1 & 0,002 & 0,1 & 0 & 0,018182 & 0,9995 & 0 & 0,631579 \\ a_2 & 0,2 & 1 & 0,801980198 & 0,018182 & 0,99995 & 2 & 0,526316 \\ a_3 & 0,2 & 1 & 0 & 1 & 0,99995 & 1 & 0,063158 \\ a_4 & 0,0002 & 0,001 & 0,99980198 & 0,001818 & 0,99945 & 1 & 0,063158 \\ a_5 & 1 & 0,0001 & 0,998019802 & 0,001818 & 1 & 0 & 0,421053 \\ a_6 & 1 & 0,0001 & 0,999980198 & 0,091818 & 0,475 & 0 & 1 \\ a_7 & 0,02 & 0,0001 & 0,998019802 & 0,001818 & 0,9945 & 0 & 0,526316 \\ a_8 & 0,01 & 0,0000005 & 0,999980198 & 0,009091 & 1 & 0 & 0,055263 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

### Определение матрицы решений $\hat{P}$

Используя коэффициенты весомости показателей качества

$$\bar{\varphi}_1 = 0,141649565; \quad \bar{\varphi}_2 = 0,141621306;$$

$$\bar{\varphi}_3 = 0,14162404; \quad \bar{\varphi}_4 = 0,141879198;$$

$$\bar{\varphi}_5 = 0,14169917; \quad \bar{\varphi}_6 = 0,141621235;$$

$$\bar{\varphi}_7 = 0,149905486,$$

элементы столбцов матрицы  $\bar{P}$  умножим на соответствующие их значения. В результате получаем матрицу, представленную в табл. 2.

### Определение множества согласия и несогласия

Для каждой пары вариантов  $a_k$  и  $a_l$  ( $\forall l, k; l, k = \overline{1, m}; k \neq l$ ) вычисляется множество согласия  $S_{kl} = \{j / x_{kj} \geq x_{lj}\}$ . Это множество состоит из индексов тех показателей, по которым  $k$ -й вариант не хуже, чем вариант  $l$  (табл. 3).

После вычисления множества согласия определяется множество несогласия  $H_{kl} = \{j / x_{kl} < x_{lj}\}$ , которое состоит из индексов тех показателей, по которым  $l$ -й вариант превосходит  $k$ -й (табл. 4).

Таблица 2. Матрица решений

Table 2. Decision matrix

Вариант	$\overline{\varphi_1 x_1}$	$\overline{\varphi_2 x_2}$	$\overline{\varphi_3 x_3}$	$\overline{\varphi_4 x_4}$	$\overline{\varphi_5 x_5}$	$\overline{\varphi_6 x_6}$	$\overline{\varphi_7 x_7}$
$a_1$	0,0002833	0,014162131	0	0,00258	0,141628	0	0,094677
$a_2$	0,02832991	0,141621306	0,113579675	0,00258	0,141692	0,283242	0,078898
$a_3$	0,02832991	0,141621306	0	0,141879	0,141692	0,141621	0,009468
$a_4$	2,833E-05	0,000141621	0,141595995	0,000258	0,141621	0,141621	0,009468
$a_5$	0,1416495	1,41621E-05	0,141343596	0,000258	0	0	0,063118
$a_6$	0,1416495	1,41621E-05	0,141621235	0,013027	0,067307	0	0,149905
$a_7$	0,0014165	1,41621E-05	0,141343596	0,000258	0,14092	0	0,078898
$a_8$	0,0014165	7,08107E-08	0,141621235	0,00129	0	0	0,008284

Таблица 3. Множество согласия

Table 3. Plenty of agreement

$S_{11} = \{ \}$	$S_{12} = \{4, 7\}$	$S_{13} = \{3, 7\}$	$S_{14} = \{1, 2, 4, 5, 7\}$	$S_{15} = \{2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{16} = \{2, 5, 6\}$	$S_{17} = \{2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{18} = \{2, 4, 5, 6, 7\}$
$S_{21} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$	$S_{22} = \{ \}$	$S_{23} = \{1, 2, 3, 5, 6, 7\}$	$S_{24} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{25} = \{2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{26} = \{2, 5, 6\}$	$S_{27} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{28} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$
$S_{31} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$	$S_{32} = \{1, 2, 4, 5\}$	$S_{33} = \{ \}$	$S_{34} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{35} = \{2, 4, 5, 6\}$	$S_{36} = \{2, 4, 5, 6\}$	$S_{37} = \{1, 2, 4, 5, 6\}$	$S_{38} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$
$S_{41} = \{3, 6\}$	$S_{42} = \{3\}$	$S_{43} = \{3, 6, 7\}$	$S_{44} = \{ \}$	$S_{45} = \{2, 3, 4, 5, 6\}$	$S_{46} = \{2, 5, 6\}$	$S_{47} = \{2, 3, 4, 5, 6\}$	$S_{48} = \{2, 5, 6, 7\}$
$S_{51} = \{1, 3, 6\}$	$S_{52} = \{1, 3\}$	$S_{53} = \{1, 3, 7\}$	$S_{54} = \{1, 4, 7\}$	$S_{55} = \{ \}$	$S_{56} = \{1, 2, 6\}$	$S_{57} = \{1, 2, 3, 4, 6\}$	$S_{58} = \{1, 2, 5, 6, 7\}$
$S_{61} = \{1, 3, 4, 6, 7\}$	$S_{62} = \{1, 3, 4, 7\}$	$S_{63} = \{1, 3, 7\}$	$S_{64} = \{1, 3, 4, 7\}$	$S_{65} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{66} = \{ \}$	$S_{67} = \{1, 2, 3, 4, 6, 7\}$	$S_{68} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
$S_{71} = \{1, 3, 6, 7\}$	$S_{72} = \{3, 7\}$	$S_{73} = \{3, 7\}$	$S_{74} = \{1, 3, 4, 7\}$	$S_{75} = \{2, 3, 4, 5, 6, 7\}$	$S_{76} = \{2, 5, 6\}$	$S_{77} = \{ \}$	$S_{78} = \{1, 2, 5, 6, 7\}$
$S_{81} = \{1, 3, 6\}$	$S_{82} = \{3\}$	$S_{83} = \{3\}$	$S_{84} = \{1, 3, 4\}$	$S_{85} = \{3, 4, 5, 6\}$	$S_{86} = \{3, 6\}$	$S_{87} = \{1, 3, 4, 6\}$	$S_{88} = \{ \}$

Таблица 4. Множество несогласия

Table 4. Lots of disagreement

$H_{11} = \{ \}$	$H_{12} = \{1, 2, 3, 5, 6\}$	$H_{13} = \{1, 2, 4, 5, 6\}$	$H_{14} = \{3, 6\}$	$H_{15} = \{1, 3\}$	$H_{16} = \{1, 3, 4, 7\}$	$H_{17} = \{1, 3\}$	$H_{18} = \{1, 3\}$
$H_{21} = \{7\}$	$H_{22} = \{ \}$	$H_{23} = \{4\}$	$H_{24} = \{3\}$	$H_{25} = \{1, 3\}$	$H_{26} = \{1, 3, 4, 7\}$	$H_{27} = \{3\}$	$H_{28} = \{3\}$
$H_{31} = \{7\}$	$H_{32} = \{3, 6, 7\}$	$H_{33} = \{ \}$	$H_{34} = \{3\}$	$H_{35} = \{3, 7\}$	$H_{36} = \{1, 3, 7\}$	$H_{37} = \{3, 7\}$	$H_{38} = \{3\}$
$H_{41} = \{1, 2, 4, 5, 7\}$	$H_{42} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$H_{43} = \{1, 2, 4, 5\}$	$H_{44} = \{ \}$	$H_{45} = \{1, 7\}$	$H_{46} = \{1, 3, 4, 7\}$	$H_{47} = \{1, 7\}$	$H_{48} = \{1, 3, 4\}$
$H_{51} = \{2, 4, 5, 7\}$	$H_{52} = \{2, 4, 5, 6, 7\}$	$H_{53} = \{2, 4, 5, 6\}$	$H_{54} = \{2, 3, 5, 6\}$	$H_{55} = \{ \}$	$H_{56} = \{3, 4, 5, 7\}$	$H_{57} = \{5, 7\}$	$H_{58} = \{3, 4\}$
$H_{61} = \{2, 5\}$	$H_{62} = \{2, 5, 6\}$	$H_{63} = \{2, 4, 5, 6\}$	$H_{64} = \{2, 5, 6\}$	$H_{65} = \{ - \}$	$H_{66} = \{ \}$	$H_{67} = \{5\}$	$H_{68} = \{ - \}$
$H_{71} = \{2, 4, 5, 7\}$	$H_{72} = \{1, 2, 4, 5, 6\}$	$H_{73} = \{1, 2, 4, 5, 6\}$	$H_{74} = \{2, 3, 5, 6\}$	$H_{75} = \{1\}$	$H_{76} = \{1, 3, 4, 7\}$	$H_{77} = \{ \}$	$H_{78} = \{3, 4\}$
$H_{81} = \{2, 4, 5, 7\}$	$H_{82} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$H_{83} = \{1, 2, 4, 5, 6, 7\}$	$H_{84} = \{2, 5, 6, 7\}$	$H_{85} = \{1, 2, 7\}$	$H_{86} = \{1, 2, 4, 5, 7\}$	$H_{87} = \{2, 5, 7\}$	$H_{88} = \{ \}$

**Определение матрицы согласия**

Для этой цели находятся индексы согласия. Индекс согласия для пары вариантов  $a_k$  и  $a_l$  вычисляется следующим образом:

$$S_{kl} = \frac{\sum_{j \in S_{kl}} \bar{\varphi}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{\varphi}_j}. \quad (8)$$

$$S = \begin{pmatrix} - & 0,291784 & 0,291529 & 0,716754 & 0,716726 & 0,424941 & 0,716726 & 0,716726 \\ 0,850094 & - & 0,858120 & 0,858375 & 0,716726 & 0,424941 & 0,858375 & 0,858375 \\ 0,850094 & 0,566849 & - & 0,858375 & 0,566820 & 0,566820 & 0,708470 & 0,858375 \\ 0,283245 & 0,14162 & 0,433150 & - & 0,708444 & 0,424941 & 0,858350 & 0,574847 \\ 0,424894 & 0,283273 & 0,433179 & 0,433434 & - & 0,424892 & 0,708395 & 0,716496 \\ 0,716679 & 0,575058 & 0,433179 & 0,5750582 & 1 & - & 0,858300 & 1 \\ 0,574800 & 0,291529 & 0,2915296 & 0,575058 & 0,858350 & 0,424941 & - & 0,716496 \\ 0,424894 & 0,141624 & 0,141624 & 0,425152 & 0,566823 & 0,283245 & 0,566774 & - \end{pmatrix}. \quad (9)$$

**Определение матрицы несогласия**

Если матрица  $S$  определяется на основе величин весомости показателей качества, то матрица несогласия – на основе значения показателей. Индекс несогласия рассчитывается для каждой пары вариантов  $k, l$  ( $\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l$ ) с помощью формулы

$$H_{kl} = \left\{ \max_{j \in H_{kl}} |v_{kj} - v_{lj}| : \max_{j \in \overline{1, n}} |v_{kj} - v_{lj}| \right\}. \quad (10)$$

С использованием формулы (10) получим индексы несогласия.

Из индексов несогласия составляется матрица несогласия  $H$  размерности  $m \times m$ :

$$H = \begin{pmatrix} - & 1 & 1 & 1 & 0,99815 & 1 & 1 & 0,99995 \\ 0,05571 & - & 0,983607 & 0,197826 & 0,40008 & 0,5 & 0,098022 & 0,099002 \\ 0,601671 & 1 & - & 0,999822 & 0,99804 & 1 & 0,99804 & 1 \\ 0,601671 & 1 & 1 & - & 1 & 1 & 0,490251 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & - & 1 & 1 & 0,007358 \\ 0,0999 & 1 & 1 & 1 & 0 & - & 0,524931 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0,995127 & 1 & - & 0,007322 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & - \end{pmatrix}. \quad (11)$$

В матрице согласия  $S$  в основном отражена информация о важности показателей, т. е. о величинах весомости, а в матрице несогласия  $H$  приводится информация о различиях между значениями показателей качества.

**Определение доминирующей матрицы согласия**

Эта матрица  $D_S = \|r_{kl}\|$  состоит из нулей и единиц, причем

$$r_{kl} = \begin{cases} 1, S_{kl} \geq \bar{S}, \\ 0, S_{kl} < \bar{S}. \end{cases}$$

Значения  $S$  могут быть определены различными способами, например, как средний индекс согласия:

$$\bar{S} = \left( \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m r_{kl} \right) : [m(m-1)]. \quad (12)$$

По формуле (12) определяем средний индекс согласия  $\bar{S} = 0,581541085$  и строим доминирующую матрицу согласия  $D_S$ :



$$D_S = \begin{pmatrix} - & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & - & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & - & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & - \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Элементы матрицы  $D_S$  отражают факты доминирования одного варианта над другим.

### Определение доминирующей матрицы несогласия

Эта матрица  $D = \|q_{kl}\|$  строится аналогично матрице  $D_S$ :

$$d_{kl} = \begin{cases} 1, & d_{kl} \geq \bar{d}, \\ 0, & d_{kl} < \bar{d}, \end{cases}$$

где  $\bar{d}$  может быть определено, как средний индекс несогласия:

$$\bar{d} = \left( \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m d_{kl} \right) : [m(m-1)]. \quad (14)$$

Средний индекс несогласия по формуле (14)  $\bar{d} = 0,797437$ .

$$D_H = \begin{pmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & - & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}. \quad (15)$$

### Определение агрегированной матрицы доминирования

Эта матрица, обозначим ее  $D_A = \|v_{kl}\|$ , формируется перемножением соответствующих элементов матрицы  $D_S$  и  $D_H$ , иначе  $D_A = D_S D_H = \|r_{kl}\| \cdot \|q_{kl}\| = \|v_{kl}\|$ ,  $\forall k, l, k, l = \overline{1, m}; k \neq l$ .

После перемножения имеем агрегированную матрицу доминирования:

$$D_A = \begin{pmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & - & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & - & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & - & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Данная матрица задает частичное упорядочение на множестве вариантов. Если  $v_{kl} = 1$ , то вариант  $a_k$  предпочтительнее варианта  $a_l$  как по критерию согласия, так и по критерию несогласия.

Таким образом, чтобы определить множество недоминируемых вариантов, необходимо удалить те варианты, для которых в соответствующих им столбцах матрицы  $D_A$  имеется хотя бы одна единица. В нашем случае для дальнейших исследований выбираем второй, третий и шестой варианты: магнитокумулятивный генератор, взрывной магнетогидродинамический генератор, ударный униполярный генератор.

### Выводы

Предложенная модель согласования решений с учетом коэффициентов весомости показателей качества объектов на примере сравнения вариантов импульсных источников электромагнитной энергии позволяет произвести отбор недоминируемых вариантов с целью дальнейших исследований, связанных с определением коэффициентов близости недоминируемых вариантов к эталону и направленных на выявление оптимального решения (варианта).

Для этой цели могут быть использованы широко известные методы кластерного анализа и методы многокритериальной оптимизации, например, метод анализа иерархий.

### Библиографические ссылки

1. Левин Д. П., Селиванов В. В. Обзор современных технологий оружия нелетального действия // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. Вып. 11-12 (125-126). С. 119–126.
2. Федосов Е. А. Высокоточное оружие – оружие XXI века // Авиационные системы. 2016. Вып. 5 С. 9–13.
3. Козлов В. В., Зонтова Т. В., Мещеряков С. М. Оружие нелетального действия, построенное на новых физических принципах // Перспективные на-

правления развития артиллерийского вооружения, методов его эксплуатации и ремонта : тр. XII Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, 18 мая 2018 г.). Пермь : Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2018. С. 46–50.

4. Концептуальный подход к оценке эффективности применения системы высокоточного оружия в операциях / Н. М. Паршин, О. А. Степанов, Н. И. Куренков, С. Н. Ананьев // Военная мысль. 2019. № 3. С. 72–81.

5. Козлов В. В., Зонтова Т. В., Десятков С. В. О возможностях применения электромагнитного оружия в сетцентрической войне // Перспективные направления развития артиллерийского вооружения, методов его эксплуатации и ремонта : тр. XII Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, 18 мая 2018 г.). Пермь : Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2018. С. 41–46.

6. Явдошук А. А. Международно-правовое регулирование использования высокоточного оружия // Актуальные проблемы современного международного права : материалы XV Междунар. конгресса (Москва, 22 апреля 2017 г.). В 3 ч. М. : Российский университет дружбы народов, 2018. С. 570–573.

7. Козлов В. В., Зонтова Т. В., Неверов А. И. О тепловом механизме деградации полупроводниковых элементов при воздействии электромагнитного излучения // Перспективные направления развития артиллерийского вооружения, методов его эксплуатации и ремонта : тр. XII Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, 18 мая 2018 г.). Пермь : Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2018. С. 50–55.

8. Смирнова Е. А., Обухов И. А., Балабанов В. М. Нанопровод как активный элемент генератора СВЧ-излучения // VIII ежегодная конференция нанотехнологического общества России (Москва, 31 марта 2017 г.). М. : Нанотехнологическое общество России, 2017. С. 34–35.

9. Шелгинский А. Ю., Самойлов Л. А. Анализ и тенденции развития комплексов активной и пассивной защиты объектов бронетанкового вооружения от высокоточного оружия // Наука, промышленность, оборона : XIX Всерос. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 18–20 апреля 2018 г.). В 4 т. Новосибирск : Новосибирский технический университет, 2018. С. 34–37.

10. Ашимова К. К. Анализ электромагнитных воздействий на электронные системы беспилотного летательного аппарата // Технические и математические науки : Студенческий научный форум : материалы I студ. междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 2018). Казань : Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева, 2018. С. 14–18.

11. Морару А. А. Комплексная модель оценки эффективности мероприятий защиты элементов системы управления в воинском формировании от высокоточного оружия // Стратегическая стабильность. 2019. № 2 (87). С. 66–68.

12. Чинуга А. Ю. Особенности применения высокоточного оружия вооруженными силами США в локальных конфликтах // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 9 (26). С. 419–422.

13. Волков А. А., Трифонов П. А. Ограничения на энергию излучения в антенне мощного сверхвысокочастотного генератора в режиме формирования импульсной последовательности // Радиолокация, навигация, связь : тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 160-летию со дня рождения А. С. Попова (Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.). Воронеж : Воронежский государственный университет, 2019. С. 393–399.

14. Белоус А. И., Мерданов М. К., Шведов С. В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи : монография. Москва : Техносфера, 2016. 688 с.

15. Буравлев А. И. О критериях определения высокоточного оружия // Защита и безопасность. 2018. № 4 (87). С. 14–16.

16. Буренок В. М. Направления и проблемы создания системы вооружения будущего // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 2 (92). С. 97–103.

17. Shurupov A.V., Koslov A.V., Shurupov M.A., Zavalova V.E., Fortov V.E. [The sources of pulse current based on explosive magnetic generators for mobile testing facility]. Ieee Transactions On Plasma Science, 2016, no. 44, pp. 1956-1960.

18. Shurupov A.V., Zavalova V.E., Kozlov A.V., Shurupov M.A., Povareshkin M.N., Kozlov A.A., Shurupova N.P. [Experimental Investigation Of Powerful Pulse Current Generators Based On Capacitive Storage And Explosive Magnetic Generators]. Conference Series 32. “XXXII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, ELBRUS 2017” (Elbrus, Kabardino-Balkaria, March 1-6, 2017). Elbrus, Russian Academy of Sciences (RAS), Russian Foundation for Basic Research, 2018, p. 012137.

19. Shurupov A.V., Zavalova V.E., Kozlov A.V., Shurupov M.A. [A mobile test facility based on a magnetic cumulative generator to study the stability of the power plants under impact of lightning currents]. Physics of Atomic Nuclei, 2016, no. 79, pp. 1604-1613.

20. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока : монография / Э. И. Асиновский, В. Е. Фортов. М. : Наука, 2017. 380 с.

21. Экстремальные состояния вещества : монография / В.Е. Фортов. М. : ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2016. 304 с.

22. Лосин А. А., Чубасов В. А., Усольцев Р. А. Структурный синтез системы высокоточных боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 11-12 (101-102). С. 131–135.

23. Методы военно-научных исследований систем вооружения : монография / В. М. Буренок, А. И. Буравлев, Г. А. Лавринов [и др.]. М. : Граница, 2017. 512 с.

24. Гордеев В. Н., Емельянов А. В., Жабин И. П. Оценка эффективности средств постановки помех

системам высокоточного оружия // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 11-3. С. 262–267.

### References

1. Levin D.P., Selivanov V.V. [Review of modern technologies of non-lethal weapons]. *Voprosy Oborony Tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskiye Sredstva Protivodeystviya Terrorizmu*, 2018, is. 11-12, pp. 119-126 (in Russ.).
2. Fedosov E.A. [High-precision weapons - weapons of the XXI century]. *Aviatsionnyye Sistemy*, 2016, is. 5, pp. 9-13 (in Russ.).
3. Kozlov V. V., Zontova T. V., Meshcheryakov S. M. *Oruzhiye neletal'nogo deystviya, postroyennoye na novykh fizicheskikh printsipakh* [Non-lethal weapons based on new physical principles]. *Sbornik trudov XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnyye napravleniya razvitiya artilleriyaskogo vooruzheniya, metodov yego ekspluatatsii i remonta"* [Proc. of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference "Prospective directions for the development of artillery weapons, methods of its operation and repair" (Perm, May 18, 2018)]. Perm, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, 2018, pp. 46-50 (in Russ.).
4. Parshin N.M., Stepanov O. A., Kurenkov N. I., Ananyev S. N. [A conceptual approach to assessing the effectiveness of the use of precision weapons systems in operations]. *Voyennaya mysl'*, 2019, no. 3, pp.72-81 (in Russ.).
5. Kozlov V.V., Zontova T.V., Desyatkov S.V. *O vozmozhnostyakh primeneniya elektromagnitnogo oruzhiya v setetsentricheskoy voyne* [On the possibilities of using electromagnetic weapons in network-centric warfare]. *Sbornik trudov XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnyye napravleniya razvitiya artilleriyaskogo vooruzheniya, metodov yego ekspluatatsii i remonta"* (Perm', 18 maya 2018 g.) [Proc. of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference "Prospective Directions for the Development of Artillery Weapons, Methods of Their Operation and Repair" (Perm, May 18, 2018)]. Perm, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, 2018, pp. 41-46 (in Russ.).
6. Yavdoshchuk A.A. *Mezhdunarodno-pravovoye regulirovaniye ispol'zovaniya vysokotochnogo oruzhiya* [International legal regulation of the use of precision weapons]. *Materialy XV Mezhdunarodnogo kongressa "Aktual'nyye problemy sovremennogo mezhdunarodnogo prava"* [Proc. of the XV International Congress "Actual problems of modern international law" (Moscow, April 22, 2017)]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia, 2018, pp. 570-573 (in Russ.).
7. Kozlov V.V., Zontova T.V., Neverov A.I. *O teplovom mekhanizme degradatsii poluprovodnikovyykh elementov pri vozdeystvii elektromagnitnogo izlucheniya*. [On the thermal mechanism of degradation of semiconductor elements when exposed to electromagnetic radiation]. *Sbornik trudov XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnyye napravleniya razvitiya artilleriyaskogo vooruzheniya, metodov yego ekspluatatsii i remonta"* [Proc. of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference "Prospective directions for the development of artillery weapons, methods of its operation and repair" (Perm, May 18, 2018)]. Perm, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, 2018, pp. 50-55 (in Russ.).
8. Smirnova E.A., Obukhov I.A., Balabanov V.M. *Nanoprovod kak aktivnyy element generatora SVCH izlucheniya* [Nanowire as an active element of a microwave radiation generator]. *Sbornik trudov VIII Yezhegodnaya konferentsii nanotekhnologicheskogo obshchestva Rossii* [Proc. of the VIII Conference Annual Conference of the Russian Nanotechnology Society (Moscow, March 31, 2017)] Moscow, Nanotechnological society of Russia, 2017, pp. 34-35 (in Russ.).
9. Shelginsky A.Yu., Samoilov L.A. *Analiz i tendentsii razvitiya kompleksov aktivnoy i passivnoy zashchity ob'yektov bronetankovogo vooruzheniya ot vysokotochnogo oruzhiya* [Analysis and development trends of active and passive defense systems for armored vehicles from precision weapons]. *Trudy XIX Vserossiyskoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii "Nauka, promyshlennost', oborona"* [Proc. of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference "Science, Industry, Defense" (Novosibirsk, April 18 - 20, 2018)]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University, 2018, pp. 34-37 (in Russ.).
10. Ashimova K.K. *Analiz elektromagnitnykh vozdeystviy na elektronnyye sistemy bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Analysis of electromagnetic effects on the electronic systems of an unmanned aerial vehicle]. *Sbornik statey I studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnicheskiye i matematicheskiye nauki. Studencheskiy nauchnyy forum"* (Kazan' 2018). [Proc. of the I student international scientific-practical conference "Technical and mathematical sciences. Student Scientific Forum" (Kazan 2018)]. Kazan, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 2018, pp. 14-18 (in Russ.).
11. Moraru A.A. [A comprehensive model for evaluating the effectiveness of measures to protect elements of a control system in a military formation from precision weapons]. *Strategicheskaya stabil'nost'*, 2019, no. 2, pp. 66-68 (in Russ.).
12. Chipiga A.Yu. [Features of the use of high-precision weapons by the US armed forces in local conflicts]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki*, 2018, no. 9, pp. 419-422 (in Russ.).
13. Volkov A.A., Trifonov P.A. *Ogranicheniya na energiyu izlucheniya v antenne moshchnogo sverkhvysokochastotnogo generatora v rezhime formirovaniya impul'snoy posledovatel'nosti* [Limitations on the radiation energy in the antenna of a high-power microwave generator in the mode of pulse sequence formation]. *Sbornik trudov XXV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii, posvyashchennoy 160-letiyu so dnya rozhdeniya A.S. Popova "Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz"* [Proc. of the XXV International scientific and technical conference dedicated to the 160th anniversary of A.S. Popov "Radar, navigation, communication" (Moscow, April 22, 2018)]. Moscow, Peoples' Friendship University of Russia, 2018, pp. 14-18 (in Russ.).

tific and technical conference dedicated to the 160th anniversary of the birth of A.S. Popova "Radar, navigation, communications" (Voronezh, April 16-18, 2019)]. Voronezh, Voronezh State University, 2019, pp. 393-399 (in Russ.).

14. Belous A.I., Merdanov M.K., Shvedov S.V. *SVCH-elektronika v sistemakh radiolokatsii i svyazi* [Microwave Electronics in Radar and Communication Systems]. Moscow, Technosphere Publ., 2016, 688 p. (in Russ.).

15. Buravlev A.I. [On the criteria for determining high-precision weapons]. *Zashchita i bezopasnost'*, 2018, no. 4, pp. 14-16 (in Russ.).

16. Burenok V.M. [Directions and problems of creating the weapons system of the future]. *Izvestiya rossiy-skoj akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk*, 2016, no. 2, pp. 97-103 (in Russ.).

17. Shurupov A.V., Koslov A.V., Shurupov M.A., Zavalova V.E., Fortov V.E. [The sources of pulse current based on explosive magnetic generators for mobile testing facility]. *IEEE Transactions On Plasma Science*, 2016, no. 44, pp. 1956-1960.

18. Shurupov A.V., Zavalova V.E., Kozlov A.V., Shurupov M.A., Povareshkin M.N., Kozlov A.A., Shurupova N.P. [Experimental Investigation Of Powerful Pulse Current Generators Based On Capacitive Storage And Explosive Magnetic Generators]. Conference Series 32. "XXXII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, ELBRUS 2017" (Elbrus, Kabardino-Balkaria, March 1-6, 2017). Elbrus,

Russian Academy of Sciences (RAS), Russian Foundation for Basic Research, 2018, p. 012137.

19. Shurupov A.V., Zavalova V.E., Kozlov A.V., Shurupov M.A. [A mobile test facility based on a magnetic cumulative generator to study the stability of the power plants under impact of lightning currents]. *Physics of Atomic Nuclei*, 2016, no. 79, pp. 1604-1613.

20. Asinovsky E.I., Fortov V.E. *Vzryvnyye generatory moshchnykh impul'sov elektricheskogo toka* [Explosive generators of powerful pulses of electric current]. Moscow, Science Publ., 2017, 380 p. (in Russ.).

21. Fortov V.E. *Ekstremal'nyye sostoyaniya veshchestva* [Extreme states of matter]. Moscow, Physics and Mathematics Publ., 2016, 304 p. (in Russ.).

22. Losin A.A., Chubasov V.A., Usoltsev R.A. [Structural synthesis of high-precision ammunition systems]. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskkiye sredstva protivodeystviya terrorizmu*, 2016, no. 11-12, pp. 131-135 (in Russ.).

23. Burenok V.M., Buravlev A.I., Lavrinov G.A., Podolsky A.G., Pyankov A.A. *Metody voyenno-nauchnykh issledovaniy sistem vooruzheniya* [Methods of military scientific research of weapons systems]. Moscow, Granitsa Publ., 2017, 512 p. (in Russ.).

24. Gordeev V.N., Emelyanov A.V., Zhabin I.P. [Evaluation of the effectiveness of jamming systems for precision weapon systems]. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskkiye Nauki*, 2017, no. 11-3, pp. 262-267 (in Russ.).

## Rationale for Selection of Non-Dominated Options for Pulsed Sources of Electromagnetic Energy

V.V. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, Black Sea Nakhimov Higher Naval School, Sevastopol, Russia

T.V. Zontova, PhD in Engineering, Black Sea Nakhimov Higher Naval School, Sevastopol, Russia

*The basis of electromagnetic ammunition is a source of powerful electromagnetic pulses. Modern systems for the generation of powerful electromagnetic radiation have energy capabilities that ensure the destruction of electronic equipment at distances from hundreds of meters to tens of kilometers.*

*Currently, in connection with the development of high-precision delivery systems for the emitter of powerful electromagnetic radiation, new opportunities have appeared for electromagnetic ammunition affecting electronic devices and means of communication of the enemy. Electromagnetic ammunition refers to selective ammunition, which form powerful electromagnetic impulses for the functional destruction (incapacitation) of sensitive elements of electronic components included in missile and aviation systems. Missile and aviation systems, as the main strike means, are a combination of heterogeneous types of easily vulnerable targets with elements of electronic equipment, which include launchers with ground and sea-based missiles, aircraft (aircraft and helicopters) on hundred yards and decks of surface ships, radio engineering, navigation radio-location stations, stations of a satellite communication system, control, etc.*

*In this aspect, the action of electromagnetic ammunition is of great military importance, since it can lead to irreversible damage to a wide range of electrical and electronic weapons and military equipment.*

*This work is devoted to the substantiation and selection of non-dominated versions of pulsed sources of electromagnetic energy, which, potentially, can be used as generators of sources of powerful electromagnetic pulses.*

*The paper discusses a model for matching decisions using the factors of weighting indicators of quality indices of objects by the example of comparing options for pulsed sources of electromagnetic energy.*

**Keywords:** weapons, defeat, energy, radiation, multi-factor, electromagnetic bomb.

Получено 12.12.2019

**Образец цитирования**

Козлов В. В., Зонтова Т. В. Обоснование выбора недоминируемых вариантов импульсных источников электромагнитной энергии // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 1. С. 32–44. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-32-44.

**For Citation**

Kozlov V.V., Zontova T.V. [Rationale for Selection of Non-Dominated Options for Pulsed Sources of Electromagnetic Energy]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 32-44 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-32-44.