

Научная статья  
УДК 623.62

## Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы

Юрий Митрофанович Глазунов, Роман Сергеевич Аносов, Дмитрий Михайлович Бывших

*Аннотация.* Рассмотрена возможность применения технологии программируемого радио при построении образцов техники радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Показано, что внедрение технологии не только обеспечит повышение эффективности средств РЭБ, но и позволит получить существенный технико-экономический выигрыш по сравнению с исходной системой вооружения РЭБ, для которой образцы, входящие в нее, построены по традиционной аппаратной схеме. Представлены расчетные соотношения для оценки технико-экономического выигрыша при использовании рассматриваемой технологии.

*Ключевые слова:* техника радиоэлектронной борьбы; программируемое радио; унификация; технико-экономический выигрыш

*Для цитирования:* Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 47-51.

Original article

### Methodology of the Technical and Economic Benefit Assessment of the Programmable Radio Technology Application in the Electronic Warfare Equipment Development

Iurii M. Glazunov, Roman S. Anosov, Dmitrii M. Byvshikh

*Abstract.* The possibility of programmable radio technology application in the electronic warfare (EW) equipment samples development is considered. It is shown that technology implementation will not only provide an electronic warfare efficiency improvement, but it will also make possible to gain a significant technical and economic benefit compared to the original electronic warfare weapon system, which samples are built according to the traditional hardware scheme. The calculated ratios for the technical and economic benefits assessment of the considered technology application are presented.

*Keywords:* electronic warfare technology; programmable radio; unification; technical and economic benefit

*For citation:* Glazunov Iu.M., Anosov R.S., Byvshikh D.M. Methodology of the Technical and Economic Benefit Assessment of the Programmable Radio Technology Application in the Electronic Warfare Equipment Development. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 47-51. (In Russ.).

Радиоэлектронная борьба как наиболее наукоемкий и технологичный вид боевого обеспечения остро нуждается во внедрении новейших технологических достижений [1]. Одним из перспективных направлений совершенствования средств РЭБ в настоящее время является внедрение технологии программируемого радио (SDR – Software-Defined Radio) [2]. Основная идея SDR при построении образцов техники РЭБ заключается в оцифровке сигналов, поступающих на входные тракты аппаратуры, и в использовании их в дальнейшем для излучения. В отличие от традиционно построенных (аппаратно построенных) средств такой подход требует применения специализированного цифрового компьютера (DSP) для обработки, запоминания и выбора оцифрованных сигналов и реализующего требуемые алгоритмы их обработки [3; 4]. В зарубежной литературе и в некоторых отечественных источниках используется соответствующее понятие Digital Radio Frequency Memory (DRFM). Т.е. технология и устройства DRFM позволяют получать и хранить в цифровой форме копии радиочастотных сигналов, а также выполнять их последующую цифровую обработку с целью формирования сигналов с модуляцией различного вида. Механизм функционирования системы с DRFM позволяет применять ее для оказания мешающего воздействия на системы связи и радиоразведки противника. Также эта система может вводить противника в заблуждение посредством имитации работы собственной РЛС или системы связи и излучения соответствующих импульсных и модулированных сигналов. Технология DRFM позволяет создавать компактные устройства, которые могут быть установлены на транспортных средствах многих типов, в том числе на небольших летательных аппаратах. При изменении решаемых задач

зачастую нет необходимости заменять всю систему РЭБ с ее радиочастотным блоком, достаточно внести необходимые изменения в программно-цифровую часть. Такой подход построения образцов техники РЭБ позволяет быстро и малыми затратами ресурсов совершенствовать (модернизировать) образец. Это достигается путем внесения требуемых изменений в программное обеспечение DSP, входящего в образец техники РЭБ с DRFM. Кроме того, использование технологии SDR для построения образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, потенциально обеспечивает повышение уровня их унификации.

Действительно, ввиду того, что при использовании принципов программируемого радио выполнение ряда из функций образца, возложенных на него, обеспечивается за счет DSP с заложенным в него специальным программным обеспечением обработки радиосигналов, поступающих из входящих трактов образца, то по сравнению с исходным вариантом в таких образцах происходит объединение (замена) ряда исходных конструктивов в один, обладающий большими возможностями и более высокими параметрами с точки зрения выполнения функции обработки сигналов. В частности, для таких конструктивов возможно выполнение функции обработки сигналов в расширенном диапазоне рабочих частот, обработки и анализ параметров разного вида сигналов с различными видами модуляции и демодуляции и т.п.

Все это приводит зачастую к возможности использования таких конструктивов в образцах техники других групп однородных образцов, входящих в исходную систему вооружения РЭБ. Фактически речь идет о потенциальном расширении объекта унификации [5] применительно к этой (новой) системе техники и об изменении технико-экономических и эксплуатационно-технических параметров перспективной системы техники РЭБ. За счет этого возникает, по сравнению с исходной системой вооружения РЭБ, для которой образцы, входящие в нее, построены по традиционной аппаратной схеме, существенный технико-экономический выигрыш для системы вооружения РЭБ в целом.

В интересах оценки технико-экономического выигрыша (ТЭВ) от использования принципов программируемого радио при создании техники РЭБ применяем и исходим из следующих положений (условий).

1. Оценку проводим применительно ко всей перспективной системе вооружения РЭБ.
2. Для исходного варианта оценки ТЭВ перспективной системы техники принимаем, что образцы техники, входящие в нее, построены традиционно без использования технологии программированного радио.

3. Для исходного варианта перспективной системы техники принимаем, что для нее решена задача системной унификации, то есть выбраны и заданы варианты унификации образцов, входящих в систему техники, и они являются оптимальными (рациональными) с позиций всей системы техники. Из этого следует, что выбраны (заданы) группы однородных образцов техники и их составных частей (СЧ), применительно к которым выбраны и заданы направления их унификации (базовые изделия, типоразмерные ряды изделий и т.д.).

В качестве величины ТЭВ принимается разность полных предстоящих затрат на создание и эксплуатацию образцов, входящих в перспективную систему вооружения РЭБ, между вариантом построения этих образцов с использованием технологии программируемого радио и образцов исходного варианта техники РЭБ.

Как уже говорилось выше, технико-экономический эффект возможен за счет замены некоторого количества конструктивов на один более совершенный конструктив рассматриваемого образца, построенного с использованием технологии программируемого радио. В общем виде схему возможных замен конструктивов (составных частей) образцов техники, входящих в систему вооружения РЭБ на более совершенные конструктивы (составные части) образца, построенного с использованием технологии программируемого радио можно представить в виде рисунка 1.

На приведенной схеме  $O_1^n \div O_{m_n}^n$  – это образцы, построенные традиционно, которые относились к различным группам однородных образцов, между которыми не была возможна замена (взаимозамена) СЧ при традиционном построении рассматриваемого образца  $O^*$ , составные части которого могут быть использованы в образцах  $O_1^n \div O_{m_n}^n$  при возможности построения его с использованием технологии программируемого радио. Возможность замены СЧ

образцов  $O_1^n \div O_{m_n}^n$  составными частями образца  $O^*$  появилась за счет использования технологии программируемого радио и расширения их возможностей по выполнению функций обработки сигналов (в расширенном диапазоне рабочих частот, обработки и анализа параметров разного вида сигналов с различными видами модуляции и демодуляции и т.п.). В состав  $n$ -й группы однородных образцов техники РЭБ входят лишь те образцы исходной системы вооружения РЭБ, составные части которых ( $СЧ_{M_n}^n$ ) могут быть заменены на одноименную  $n$ -ю составную часть ( $СЧ_n^*$ ) образца техники РЭБ, построенного с использованием технологии SDR. Составные части образцов для разных однородных групп отличаются выполняемыми функциями, а внутри однородных групп отличаются «уровнем» выполнения соответствующих функций. В качестве образца техники РЭБ, который будет построен с использованием технологии SDR ( $O^*$ ), выбирается образец, входящий в исходную систему вооружения РЭБ и обладающий наиболее широкими возможностями по выполнению соответствующих функций по обработке сигнала. Кроме того, считаем, что определен предпочтительный (оптимальный, рациональный) вариант его построения [6; 7] с использованием технологии SDR. На этой схеме введены следующие обозначения:

$n = 1, 2, \dots, N$  – номер группы образцов техники, СЧ которых ( $СЧ_{M_n}^n$ ) могут быть заменены на  $n$ -ю СЧ ( $СЧ_n^*$ ) рассматриваемого образца техники, построенного с использованием технологии программируемого радио;

$m_n = 1, 2, \dots, m_n$  – номер СЧ образца  $n$ -й группы, которая может быть заменена на  $n$ -ю СЧ образца, построенного с использованием технологии программируемого радио;

$W_{m_n}^n, W_n$  – величина спроса на соответствующие СЧ образцов.

Как говорилось выше, в качестве величины технико-экономического выигрыша от применения технологии программируемого радио при создании образцов техники, входящей в систему вооружения РЭБ, принимается разность полных предстоящих затрат на создание и эксплуатацию всех образцов техники РЭБ системы для двух принятых выше состояний системы.

В общем виде полные предстоящие затраты на создание и эксплуатацию любых вновь разрабатываемых (модернизируемых) образцов техники РЭБ определяются в соответствии со следующим соотношением:

$$S = C_{окр} + W \cdot C_{сер} + TWC_{экс}, \tag{1}$$

где  $C_{окр}$ ,  $C_{сер}$ ,  $C_{экс}$  – затраты на проведение ОКР, серийное производство и годовую эксплуатацию одного образца, соответственно;

$W$  – величина спроса на образец в штуках;

$T$  – продолжительность эксплуатации образца в годах.

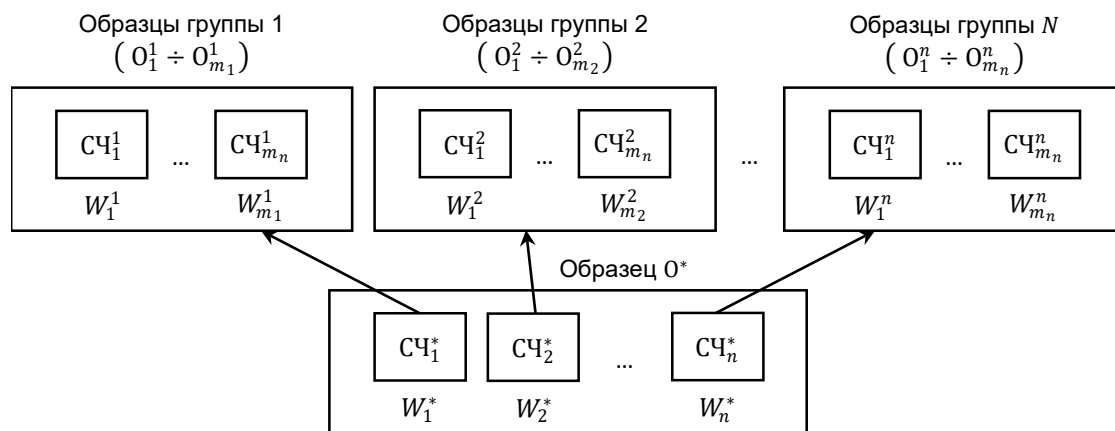


Рисунок 1 – Схема возможных замен составных частей образцов системы вооружения РЭБ составными частями образца, построенного с использованием технологии SDR

Тогда искомая величина технико-экономического выигрыша определяется как:

$$S = S_1 - S_2, \quad (2)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  полные предстоящие затраты на создание и эксплуатацию образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, для первого описанного выше состояния и второго, соответственно.

Для приведенной на рисунке 1 схемы возможных замен (унификации) между образцами различных групп однородных образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, без нарушения общности рассматриваемой задачи, считаем, что между образцами  $O_1^n \div O_{m_n}^n$  и образцом  $O^*$  не существуют другие варианты возможных замен конструктивов (составных частей) образцов, кроме отмеченных на схеме. В силу этого в соответствии с соотношением (2) при подсчете величин  $S_1$  и  $S_2$  в соответствии с (1) будем брать (учитывать) затраты на создание и эксплуатацию лишь на отмеченные на схеме конструктивны (составные части).

Тогда:

$$S_1 = \sum_{n=1}^N C_n^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N W_n C_n^{\text{сер}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{сер}} W_{n,m_n} + \sum_{n=1}^N W_n T_n C_n^{\text{э}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} T_{n,m_n} C_{n,m_n}^{\text{э}}, \quad (3)$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^N C_n^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N (\sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} + W_n) \leftrightarrow C_n^{\text{сер1}} + \sum_{n=1}^N (\sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} + W_n) T_n C_n^{\text{э}}, \quad (4)$$

$$\Delta S = \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N W_n (C_n^{\text{сер}} - C_n^{\text{сер1}}) + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} (C_{n,m_n}^{\text{сер}} - C_n^{\text{сер1}}) + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} (T_{n,m_n} C_{n,m_n}^{\text{э}} - T_n C_n^{\text{э}}), \quad (5)$$

где  $C_n^{\text{окр}}$ ,  $C_n^{\text{сер}}$ ,  $C_n^{\text{э}}$ ,  $W_n$  – затраты на проведение ОКР, серийное производство и годовую эксплуатацию  $n$ -й составной части образца  $O^*$ , величина и спрос без учета реализации работ по унификации (возможных замен СЧ на составные части образца  $O^*$ ) по системе вооружения РЭБ, соответственно;

$C_n^{\text{сер1}}$  – затраты на серийное производство  $n$ -й составной части образца  $O^*$  с учетом возрастания их серийности по результатам реализации работ по унификации (возможные затраты на составную часть образца  $O^*$ ) по системе вооружения РЭБ в целом;

$W_{n,m_n}$  – величина спроса на  $m_n$ -ю составную часть  $n$ -й однородной группы образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ;

$T_n, T_{n,m_n}$  – продолжительность эксплуатации образца  $O^*$  и образцов  $O_{m_n}^n$ , входящих в систему вооружения РЭБ, соответственно;

$C_{n,m_n}^{\text{окр}}$  – затраты на проведение ОКР по созданию  $m_n$ -й составной части  $n$ -й однородной группы образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, без учета реализации работ по унификации (возможных замен на составную часть образца  $O^*$ ) по системе вооружения РЭБ в целом.

Для получения более простых с точки зрения расчетов величины  $\Delta S$  без ограничения общности с учетом продолжительного (5-15 лет) планового периода и в соответствии с [8] полагаем:

$$C^{\text{сер}} = \alpha C^{\text{окр}}, \quad (6)$$

где  $\alpha = 0,1 \div 0,4$  для различных групп образцов техники РЭБ и их СЧ – коэффициент, связывающий стоимость серийного производства со стоимостью разработки.

Кроме того, стоимость серийного производства (изготовления) в соответствии с [8], определяется с учетом снижения себестоимости производства за счет повышения серийности образцов и их составных частей, возрастающей за счет увеличения величины спроса на образец (составную часть) ( $W$ ).

При этом выполняется соотношение:

$$C^{\text{сер}} = C_0^{\text{сер}} \cdot W^{-0,0981}, \quad (7)$$

где  $C_0^{\text{сер}}$  – стоимость серийного производства исходного (неунифицированного) образца (составной части образца).

Используя приведенные соотношения (6), (7) и полагая, что с достаточной для проведения оценок технико-экономического выигрыша точностью выполняются соотношения  $T_n = T_{n,m_n}, C_n^{\text{э}} = C_{n,m_n}^{\text{э}}$  после проведения соответствующих подстановок в (5) и дальнейшего преобразования полученных при этом выражений, получаем следующее выражение для величины технико-экономического выигрыша:

$$\Delta S = \sum_{n=1}^N \left\{ \alpha \left[ W_n - \left( W_n + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} \right)^{-0,0019} \right] C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{m_n=1}^{M_n} (1 + \alpha W_{n,m_n}) C_{n,m_n}^{\text{окр}} \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, величину технико-экономического выигрыша от использования технологии SDR и создания техники РЭБ применительно к перспективной системе вооружения РЭБ в целом можно рассчитать, зная стоимость проведения ОКР по созданию СЧ образца, построенного с использованием технологии SDR ( $0^*$ ), стоимости проведения ОКР по созданию СЧ образцов однородных групп в варианте их создания по традиционной схеме без применения технологии SDR, а также зная спрос на все СЧ образцов техники РЭБ, входящих в перспективную систему вооружения РЭБ.

#### Список источников

1. Радиоэлектронная борьба. От экспериментов прошлого до решающего фронта будущего / Под ред. Н.А. Колесова, И.Г. Насенкова. М.: Центр анализа стратегий и технологий, 2015. 248 с.
2. Jones E. Software Defined Radios, Cognitive Radio and the Software Communications Architecture (SCA) in relation to COMMS, radar and ESM (UK, September 18, 2008) // IET Seminar on Cognitive Radio and Software Defined Radios: Technologies and Techniques. L.: IET, 2008. DOI: 10.1049/ic:20080393.
3. Егоров Н., Кочемасов В. Технология цифровой радиочастотной памяти и ее применение в системах РЭБ // Электроника: наука, технология, бизнес. 2016. №10(160). С. 62-71.
4. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. 2007. №2(7). С. 22-27.
5. Крейтер С.В., Постыка В.М., Чернов Б.И., Яременко О.В. К вопросу обоснования системы понятий в области унификации // Стандарты и качество. 1983. №9. С. 26-31.
6. Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика обоснования рационального типажа перспективных образцов техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2019. №1(47). С. 10-17.
7. Годуйко В.А., Луценко А.Д., Маевский Ю.И. Методический подход к обоснованию рационального типажа средств информационного обеспечения радиоэлектронных систем // Радиотехника. 2008. №6. С. 78-80.
8. Чуев Ю.В., Спехова Г.П. Технические задачи исследования операций. М.: Советское радио, 1971. 244 с.

#### Информация об авторах

Ю.М. Глазунов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.  
 Р.С. Аносов – кандидат технических наук, доцент.  
 Д.М. Бывших – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 1879-9333.