

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕЧНЯ КРИТИЧЕСКИХ ВОЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.А. Старожук¹, Е.М. Ильин², А.И. Николаев³,
А.И. Полубехин¹, С.Г. Брайткрайт³

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
e-mail: estarozuk@yandex.ru

²Управление перспективных межвидовых исследований
и специальных проектов МО РФ, Москва, Россия
e-mail: evgil45@mail.ru

³ФГУП “46 ЦНИИ МО РФ”, Москва, Россия
e-mail: alex.nikolaev@bk.ru; braitkrait@mail.ru

Рассмотрена методология формирования перечня критических военных радиолокационных технологий, а также основные аспекты выбора и формирования ранжирования этого перечня с учетом их влияния на тактические и технические характеристики перспективного радиолокационного вооружения. При этом под тактическими характеристиками (критериями) условно понимается обобщенная совокупность основных направлений повышения боевых возможностей радиолокационного вооружения (информативность, помехозащищенность, живучесть, степень автоматизации и т.д.). Под техническими характеристиками (критериями) условно понимаются параметры, характеризующие функционирование основных элементов (блоков) образцов радиолокационного вооружения, описываемых структурной функционально-технологической схемой единой межвидовой радиолокационной станции.

Ключевые слова: тактико-техническая характеристика, радиолокационная станция, радиолокационное вооружение, критическая технология, оборонно-промышленный комплекс, структурная функционально-технологической схема.

THE MAIN PROVISIONS OF SCIENTIFIC-METHODICAL APPARATUS FOR CREATING THE LIST OF CRITICAL MILITARY RADAR TECHNOLOGIES

Е.А. Starozhuk¹, Е.М. Il'in², А.И. Nikolaev³,
А.И. Polubekhin¹, S.G. Braitkraits³

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
e-mail: estarozuk@yandex.ru

²Administration of Advanced Interspecific Research and Special Projects of Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russia
e-mail: evgil45@mail.ru

³The 46th Central Research Institute of Ministry of Defence, Moscow, Russia
e-mail: alex.nikolaev@bk.ru; braitkrait@mail.ru

The methodology of forming the list of critical military radar technologies as well as main aspects of selection and formation of ranking this list taking into account their influence on performance characteristics of advanced radar armament are considered. Here the generalized aggregate of main trends for improving battle capabilities of radar weapons (self-descriptiveness, noise-immunity, vitality, degree

of automation, etc.) is conventionally understood under tactical characteristics (criteria). Parameters characterizing the functioning of basic elements (units) of radar armament samples described by the structural functional-technological scheme of the common interspecific radar station are conventionally understood under technical characteristics (criteria).

Keywords: performance characteristics, radar station, radar armament, critical radar technologies, military-industrial complex, structural functional-technological scheme.

Анализ войн и вооруженных конфликтов, имевших место на рубеже XX–XXI вв. (“Щит пустыни”, “Буря в пустыне” (1991), “Лиса в пустыне” (1998), “Решительная сила” (1999) и др.), свидетельствует о том, что радиолокационные средства, системы и комплексы подвергаются интенсивным огневому и помеховому воздействиям, являясь, по сути, объектами первоочередного поражения [1–3].

В этой связи проблема создания максимально информативных, помехоустойчивых, скрытных и живучих образцов радиолокационной техники военного назначения — радиолокационного вооружения (РЛВ) является важнейшей задачей отечественного оборонно-промышленного комплекса (ОПК) [4].

В настоящее время ввиду существенных ограничений государственных ассигнований на проведение исследований и разработок в области радиолокационных систем (РЛС) наблюдается сокращение количества и масштабности выполняемых работ.

В этих условиях основной курс в разработках отечественного РЛВ целесообразно ориентировать на создание критически важных и прорывных радиолокационных технологий (РЛТ) межвидового назначения. Под критической военной РЛТ понимается технология, обеспечивающая решение РЛС новых задач, существенный прирост тактико-технических характеристик, значительное снижение затрат на их эксплуатацию [5]. Однако, как показывает практика, даже за рубежом средств, выделяемых на создание и развитие технологий, недостаточно. Поэтому возникает задача создания эффективного научно-методического аппарата формирования перечня критических военных РЛТ, учитывающего как технические, так и тактические характеристики РЛВ.

В результате анализа существующего научно-методического аппарата выявили, что используемые в настоящее время подходы и методики не позволяют в полной мере качественно обосновывать перечень критических военных РЛТ [3]. Это обусловлено тем, что методики определения приоритетного ряда РЛТ, разработанные видовыми научно-исследовательскими организациями Минобороны РФ, используются, как правило, применительно к конкретным уже существующим РЛС (группировке РЛС), а существующая методология, положенная в основу выбора критических военных технологий (КВТ), не может непосредственно быть использована из-за отсутствия обобщенных

критериев, учитывающих проблематику выбора всего спектра самых разнообразных РЛТ. Следовательно, необходимо разработать такой состав критериев, которые были бы приемлемы для всего многообразия радиолокационной техники независимо от их конкретных числовых значений и в то же время связаны с обобщенными характеристиками РЛВ и его составными элементами (т.е. отражали бы тактические и технические характеристики РЛВ).

Использование классического представления тактических (дальности обнаружения цели с заданной эффективной площадью рассеяния, разрешающей способности по дальности, азимуту, углу места, коэффициента подавления пассивных помех и др.) и технических (длины волны, средней мощности сигнала, ширины полосы спектра сигнала, длительности радиоимпульса и др.) характеристик в данном случае не оправдано. Это обусловлено тем, что РЛТ рассматриваются как самостоятельный объект, направленный на создание необходимого научно-технического задела для РЛВ, облик которого и, соответственно, его характеристики еще не определены, но могут изменяться в очень широких пределах (например, по используемому диапазону длин волн). Поэтому необходимо формирование и применение обобщенной качественной совокупности характеристик (критериев).

Под тактическими характеристиками (критериями) условно понимается обобщенная совокупность основных направлений повышения боевых возможностей РЛВ (информативности, помехозащищенности, живучести, степени автоматизации и др.).

Под техническими характеристиками (критериями) условно понимаются параметры, характеризующие функционирование основных элементов (блоков) образцов РЛВ, описываемых структурной функционально-технологической схемой (СФТС) единой межвидовой РЛС.

Учитывая изложенное, научно-методический аппарат должен включать в свой состав следующие методики:

- оценка соответствия РЛТ перечню базовых и критических военных технологий;
- оценка степени влияния РЛТ на тактические характеристики РЛВ;
- оценка степени влияния РЛТ на технические характеристики РЛВ;
- формирование обобщенного перечня критических военных РЛТ, учитывающего как тактические, так и технические характеристики.

В соответствии с составом (содержанием) предлагаемого научно-методического аппарата система исходных данных должна включать:

перечень КВТ; перечень РЛТ, подлежащих ранжированию; перечень возможных вариантов (форм) военных конфликтов; тактические и технические характеристики РЛВ для проведения оценок и ранжирования РЛТ.

Структурная схема предлагаемого научно-методического аппарата приведена на рис. 1 (см. 3-ю полосу обложки).

Методика оценки соответствия РЛТ перечню базовых и критических военных технологий. Многообразие РЛТ предопределяет необходимость разработки методического аппарата, позволяющего установить соответствие РЛТ перечню базовых и критических военных технологий (БКВТ) [8].

Под соответствием РЛТ перечню БКВТ понимается выявление из общей совокупности РЛТ тех, которые направлены на развитие КВТ.

Исходной информацией для экспертов является множество РЛТ — $\mathbf{T} = \|t_j\|$, $j = \overline{1, J}$, J и множество КВТ — $\mathbf{T}^{\text{KB}} = \|t_q^{\text{KB}}\|$, $q = \overline{1, Q}$ (Q — общее число критических технологий).

При проведении экспертизы каждым экспертом формируется матрица соответствия рассматриваемого множества РЛТ существующему перечню КВТ:

$$\mathbf{T}^u = \|t_{jq}^u\|, \quad (1)$$

где t_{jq}^u — оценка u -го эксперта о соответствии j -й РЛТ q -й КВТ,

$$t_{jq}^u = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я РЛТ соответствует (направлена} \\ & \text{на развитие) } q\text{-й КВТ;} \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$u = \overline{1, U}$, U — число экспертов.

Матрица оформляется в виде таблицы. Возможный вид матрицы приведен в таблице.

Оценка влияния рассчитывается по формуле

$$t_{jq} = \left\langle \sum_{u=1}^U y_{jq^u} \eta_u \right\rangle, \quad (2)$$

где η_u — коэффициент компетентности u -го эксперта; $\langle \dots \rangle$ — операция округления до ближайшего целого.

После обработки полученных от всех матриц экспертам определяются РЛТ, направленные на развитие КВТ. К таким технологиям в общем случае относятся все технологии ($\mathbf{T} = \|t_r\|$, $r = \overline{1, R}$, ($R \in J$)), получившие ненулевое значение хотя бы по одной КВТ.

Возможный вид матрицы определения соответствия РЛТ перечню КВТ по результатам заполнения одним экспертом (вариант)

Радиолокационные технологии	Критические военные технологии					
	1-я технология	2-я технология	...	q-я технология	...	Q-я технология
t_1	1	0	...	0	...	1
t_2	1	1		0		0
...
t_j	1	1	1	0
...
t_J	0	1	...	1	...	0

Полученное множество РЛТ является “отправной точкой” формирования ранжированного перечня радиолокационных КВТ. Для этого необходимо определить степень влияния отобранных РЛТ на тактические и технические характеристики РЛВ.

Методика оценки степени влияния РЛТ на тактические характеристики РЛВ. Данная методика позволяет ранжировать РЛТ по степени их влияния на обобщенные направления повышения боевых возможностей РЛВ (информативность, помехозащищенность, живучесть, степень автоматизации и т.д.) с учетом их важности для решения задач в различных типах войн и военных конфликтах. Основными этапами методики являются (рис. 2) [6, 7]:

— подготовка исходных данных. В качестве исходных данных используются возможные варианты (формы) вооруженных конфликтов; перечень основных направлений повышения боевых возможностей РЛВ;

— проведение анкетирования;

— построение матриц оценок РЛТ;

— анализ полученных результатов и построение ранжированного по важности влияния на тактические характеристики РЛВ перечня РЛТ.

Математическую основу предлагаемой методики составляют следующие операции.

1. Определение значимости вооруженных конфликтов проводится методом парных сравнений на основе анкетирования экспертов. Результаты сравнения, выполненные каждым экспертом образуют матрицу вида

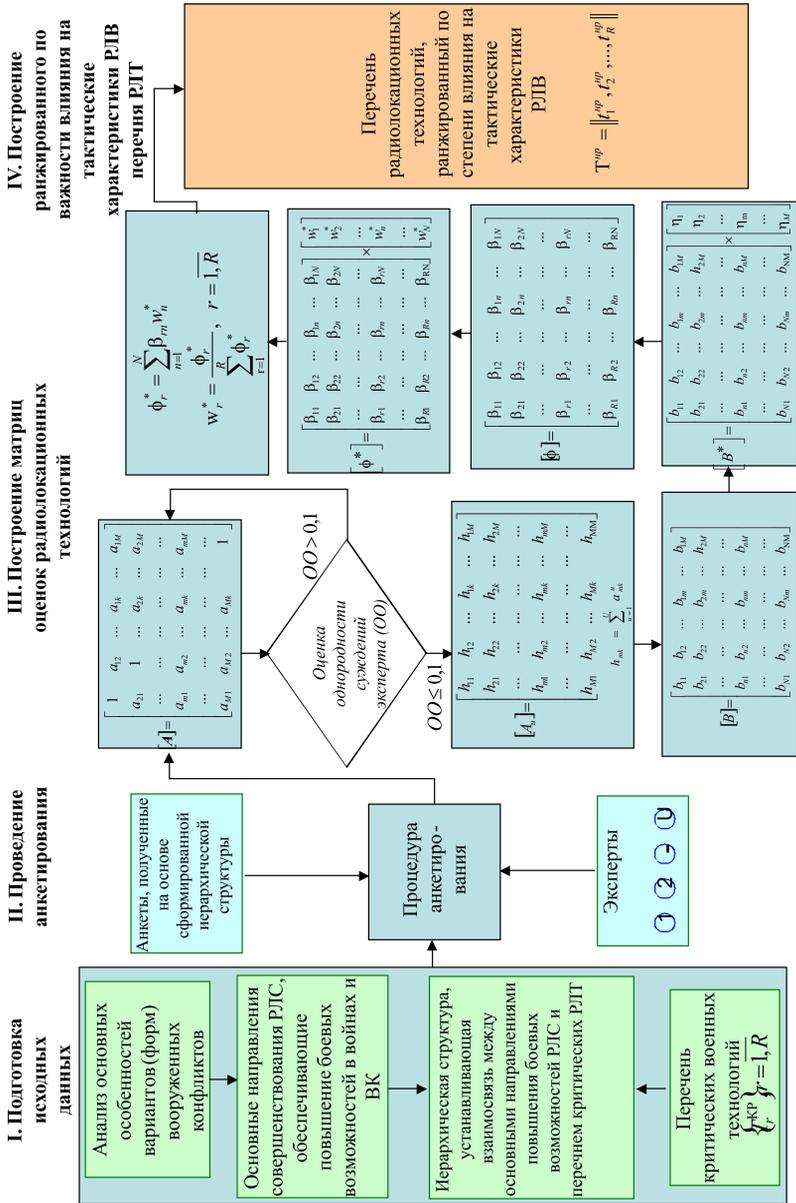


Рис. 2. Обобщенная схема оценки степени влияния РЛТ на тактические характеристики РЛВ

$$\mathbf{A}^u = \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & a_{12}^u & \dots & a_{1k}^u & \dots & a_{1M}^u \\ a_{21}^u & 1 & \dots & a_{2k}^u & \dots & a_{2M}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^u & a_{m2}^u & \dots & 1 & \dots & a_{mM}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1}^u & a_{M2}^u & \dots & a_{Mk}^u & \dots & 1 \end{array} \right\|, \quad (3)$$

где a_{mk}^u — результат сравнения u -м экспертом m -го вооруженного конфликта с k -м, $k, m = \overline{1, M}$, M — число возможных вариантов вооруженных конфликтов, $u = \overline{1, U}$, U — возможное число экспертов.

Окончательно относительная степень значимость (значимость) каждого вооруженного конфликта определяются по формуле

$$\mathbf{A}\mathbf{W}^{*BK} = \lambda_{\max} \mathbf{W}^{*BK}, \quad (4)$$

где $\mathbf{W}^{*BK} = \|w_1^{*BK}, w_2^{*BK}, \dots, w_m^{*BK}, \dots, w_M^{*BK}\|^T$ — собственный вектор матрицы \mathbf{A} , определяющий относительную важность (приоритет) вооруженных конфликтов; λ_{\max} — максимальное собственное значение матрицы \mathbf{A} .

2. После определения значимости каждого вооруженного конфликта составляется матрица оценок важности каждой тактической характеристики по каждому вооруженному конфликту

$$\mathbf{B}^u = \begin{array}{c} \text{BK}_1 \quad \text{BK}_2 \quad \dots \quad \text{BK}_m \quad \dots \quad \text{BK}_M \\ \text{нр}_1 \\ \text{нр}_2 \\ \dots \\ \text{нр}_n \\ \dots \\ \text{нр}_N \end{array} \left\| \begin{array}{cccccc} b_{11}^u & b_{12}^u & \dots & b_{1m}^u & \dots & b_{1M}^u \\ b_{21}^u & b_{22}^u & \dots & b_{2m}^u & \dots & b_{2M}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1}^u & b_{n2}^u & \dots & b_{nm}^u & \dots & b_{nM}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{N1}^u & b_{N2}^u & \dots & b_{Nm}^u & \dots & b_{NM}^u \end{array} \right\|, \quad (5)$$

где b_{nm}^u — результат оценивания важности n -й тактической характеристики РЛВ ($n = \overline{1, N}$) применительно к m -му варианту вооруженного конфликта, проведенного u -м экспертом; $n = \overline{1, N}$, N — число рассматриваемых тактических характеристик РЛС; нр $_n$ — n -е направление развития (тактические характеристики) РЛВ; вк_m — m -й вариант вооруженного конфликта.

3. Определение вектора важности направлений развития (тактических характеристик) РЛВ в зависимости от возможных видов вооруженных конфликтов и их значимости.

Формируется вектор важности $\mathbf{W}^{\text{нр}u}$ направлений развития (тактических характеристик) РЛВ в зависимости от видов вооруженных конфликтов:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{W}^{\text{HP}u} &= \mathbf{B}^u \mathbf{W}^{\text{BK}} = \\
 &= \begin{pmatrix} b_{11}^u & b_{12}^u & \dots & b_{1m}^u & \dots & b_{1M}^u \\ b_{21}^u & b_{22}^u & \dots & b_{2m}^u & \dots & b_{2M}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1}^u & b_{n2}^u & \dots & b_{nm}^u & \dots & b_{nM}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{N1}^u & b_{N2}^u & \dots & b_{Nm}^u & \dots & b_{NM}^u \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1^{\text{BK}} \\ w_2^{\text{BK}} \\ \dots \\ w_m^{\text{BK}} \\ \dots \\ w_M^{\text{BK}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1^{\text{HP}u} \\ w_2^{\text{HP}u} \\ \dots \\ w_n^{\text{HP}u} \\ \dots \\ w_N^{\text{HP}u} \end{pmatrix}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где $w_n^{\text{HP}} = \sum_{m=1}^M b_{nm}^u w_m^{\text{BK}}$ — показатель, характеризующий степень важности (влияния) тактических характеристик РЛВ в зависимости от вида вооруженного конфликта.

4. Объединение результатов анкетирования всех экспертов и расчет вектора важности направлений развития (тактических характеристик) РЛВ может проводиться различными путями и в настоящей статье не рассматривается.

5. Определение значимости военных РЛТ относительно выбранных и ранжированных основных направлений развития (тактических характеристик) РЛВ проводится следующим образом.

Экспертным путем определяется влияние (важность) каждой РЛТ на каждую тактическую характеристику РЛВ и формируется матрица

$$\mathbf{C}^u = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_r \\ \dots \\ t_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{11}^u & c_{12}^u & \dots & c_{1n}^u & \dots & c_{1N}^u \\ c_{21}^u & c_{22}^u & \dots & c_{2n}^u & \dots & c_{2N}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{r1}^u & c_{r2}^u & \dots & c_{rn}^u & \dots & c_{rN}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{R1}^u & c_{R2}^u & \dots & c_{Rn}^u & \dots & c_{RN}^u \end{pmatrix} \quad (7)$$

где c_{rn}^u — оценка степени вклада r -й РЛТ в n -е направление развития (тактическую характеристику) РЛВ по результатам экспертизы u -го эксперта; $r = \overline{1, R}$, R — число рассматриваемых РЛТ.

Затем проводится анализ полученных результатов (матрицы \mathbf{C}^u) и при необходимости уточняются числовые оценки c_{rn}^u .

6. Рассчитывается вектор относительной значимости каждой рассматриваемой военной РЛТ по всей совокупности тактических характеристик с их ранжированием.

В рамках данного подпункта осуществляется расчет степени влияния (важности) каждой рассматриваемой РЛТ на всю совокупность выбранных направлений развития (тактических характеристик) РЛВ по следующей формуле:

$$\mathbf{W}_T^{\text{HP}} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{W}^{\text{HP}} =$$

$$= \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12}^u & \cdots & c_{1n} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22}^u & \cdots & c_{2n} & \cdots & c_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{r1} & c_{r2}^u & \cdots & c_{rn} & \cdots & c_{rN} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{R1} & c_{R2}^u & \cdots & c_{Rn} & \cdots & c_{RN} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1^{\text{HP}} \\ w_2^{\text{HP}} \\ \cdots \\ w_n^{\text{HP}} \\ \cdots \\ w_N^{\text{HP}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{T1}^{\text{HP}} \\ w_{T2}^{\text{HP}} \\ \cdots \\ w_{Tr}^{\text{HP}} \\ \cdots \\ w_{TN}^{\text{HP}} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Каждый элемент w_{Tr}^{HP} полученного вектора \mathbf{W}_T^{HP} определяется взвешенной весовой суммой

$$w_{Tr}^{\text{HP}} = \sum_{n=1}^N c_{rn} w_n^{\text{HP}}, \quad (9)$$

которая является относительной оценкой важности r -й РЛТ для всей совокупности тактических (боевых) характеристик.

Нормированные оценки относительной важности РЛТ рассчитываются по формуле

$$w_{Tr}^{\text{HP}} = \frac{w_{Tr}^{*\text{HP}}}{R}, \quad r = \overline{1, R}. \quad (10)$$

$$\sum_{r=1} w_{Tr}^{*\text{HP}}$$

На основе анализа полученных результатов формируется перечень РЛТ, ранжированный по степени влияния на повышение боевых возможностей (предложенные выше тактические характеристики) РЛВ $\mathbf{T}^{\text{HP}} = \|t_1^{\text{HP}}, t_2^{\text{HP}}, \dots, t_r^{\text{HP}}, \dots, t_R^{\text{HP}}\|$.

Методика оценки степени влияния РЛТ на технические характеристики РЛВ. Методика оценки степени влияния РЛТ на технические характеристики РЛВ позволяет упорядочить их по степени влияния на структурные элементы обобщенной СФТС образца РЛВ (независимо от его видовой принадлежности и назначения) и, как следствие, на его технические характеристики.

Под СФТС образца РЛВ понимается схема, отображающая состав основных функциональных блоков (систем) элементов РЛС и внутренних связей, реализуемых во время его функционирования (рис. 3).

Оценка степени влияния РЛТ на технические характеристики предполагает выполнение ряда последовательных процедур (шагов) по структурированию информации и проведению вычислительных операций (рис. 4) [5].

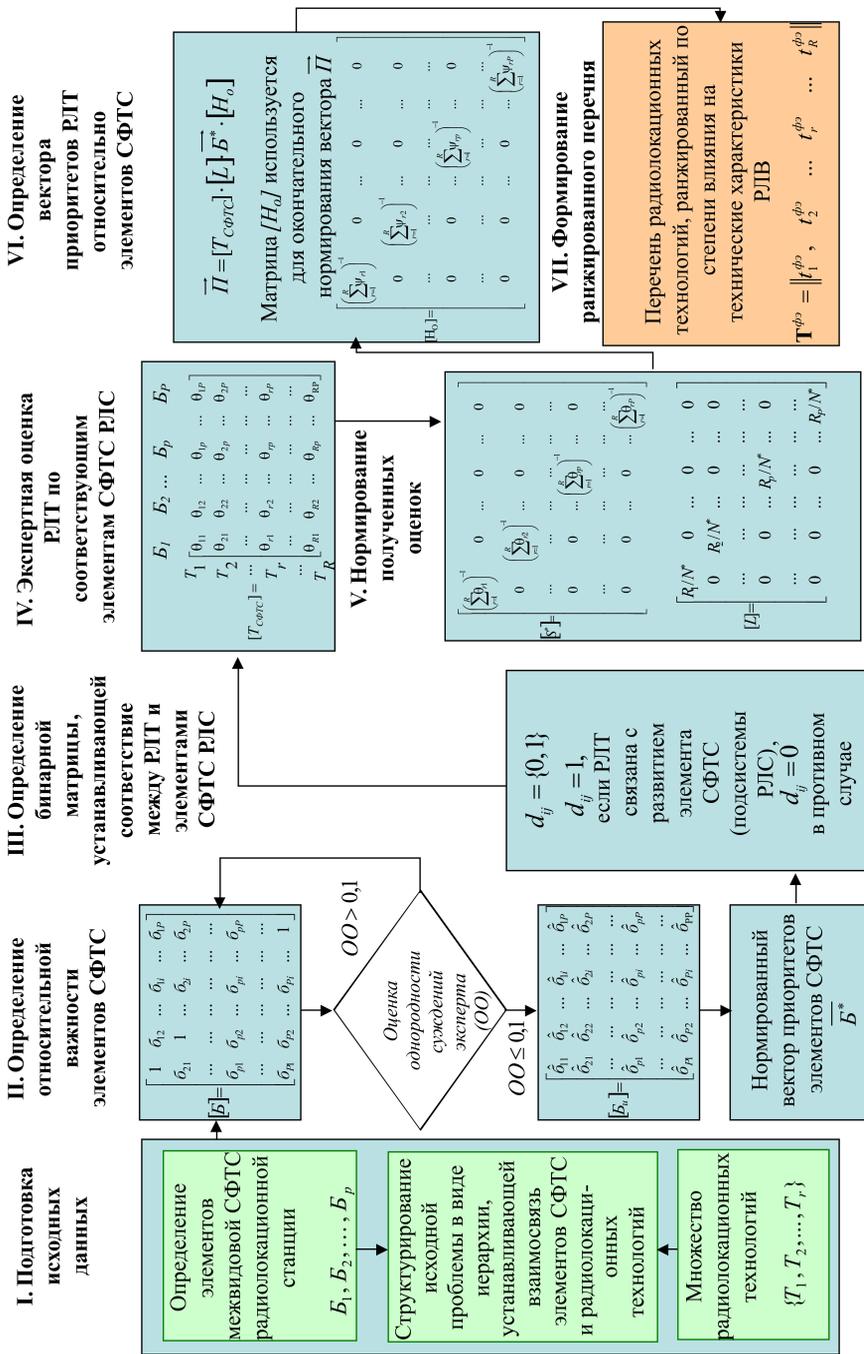


Рис. 3. Обобщенная схема оценки степени влияния радиолокационных технологий на технические характеристики РЛВ

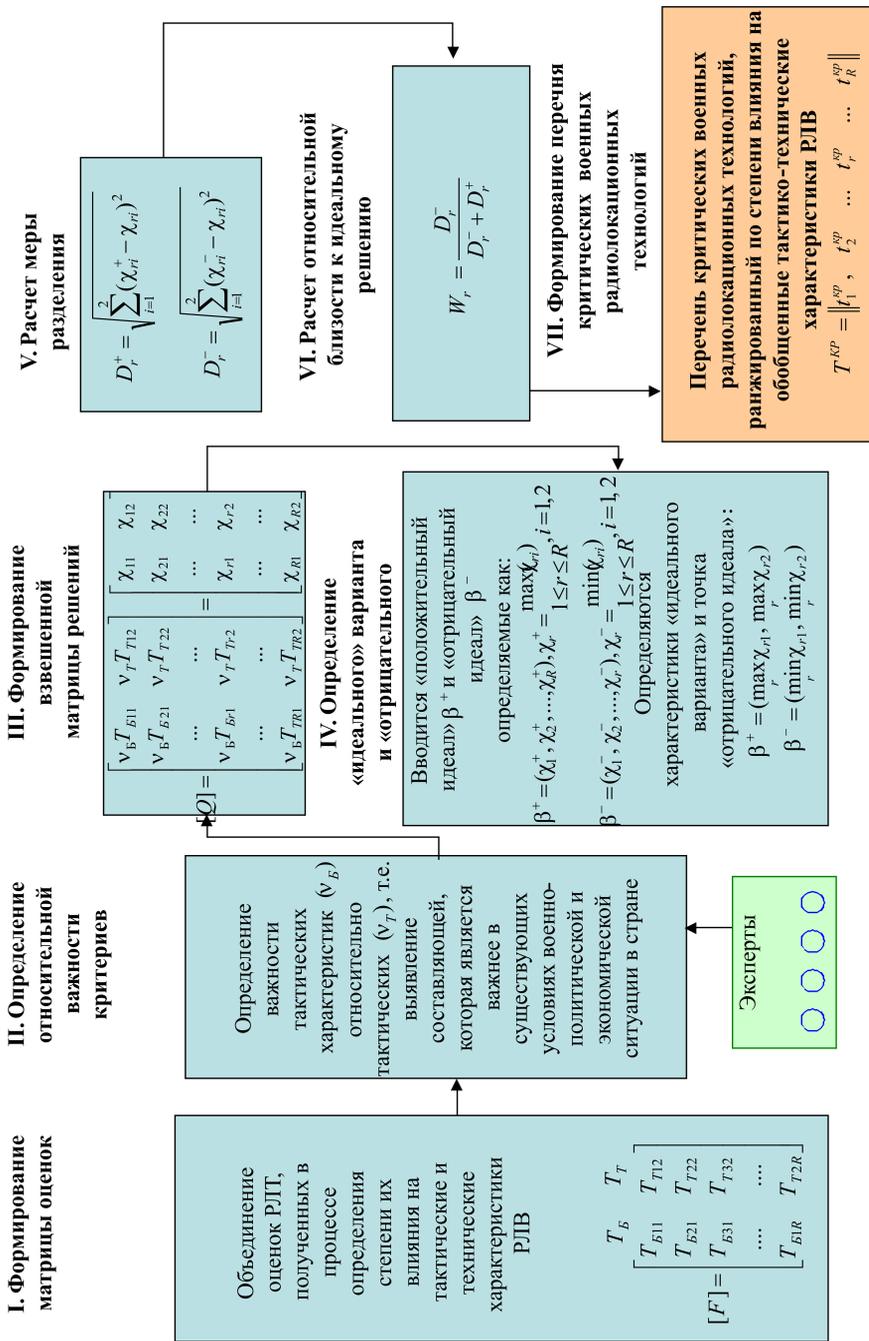


Рис. 4. Обобщенная схема формирования перечня критических военных РЛТ

1. Определяется межвидовая (общая для различных видов и родов войск) СФТС образца РЛС, устанавливающая иерархическую взаимосвязь между множеством сравниваемых РЛТ и элементами СФТС, в качестве которых рассматриваются основные подсистемы (блоки) РЛС. В качестве элементов СФТС выбраны следующие подсистемы РЛС: антенно-фидерная система; приемо-передающая система; система обработки радиолокационной информации; система отображения, управления и документирования; система синхронизации; система технической диагностики; вспомогательные системы.

2. Относительная важность функциональных элементов СФТС РЛС (технических характеристик) определяется путем построения матрицы предпочтений $\mathbf{A}^{\text{фэ}}$ вида

$$\mathbf{A}^{\text{фэ}u} = \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & a_{12}^u & \dots & a_{1i}^u & \dots & a_{1P}^u \\ a_{21}^u & 1 & \dots & a_{2i}^u & \dots & a_{2P}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1}^u & a_{p2}^u & \dots & 1 & \dots & a_{pP}^u \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{P1}^u & a_{P2}^u & \dots & a_{Pi}^u & \dots & 1 \end{array} \right\|, \quad (11)$$

где a_{pi}^u — результат сравнения u -м экспертом степени важности (предпочтения) p -го элемента СФТС РЛС с i -м ($p, i = \overline{1, P}$) ($u = \overline{1, U}$), P — число сравниваемых элементов СФТС РЛС.

3. Определяется соответствие между РЛТ и функциональными элементами СФТС.

На основе иерархической взаимосвязи функциональных элементов СФТС и РЛТ определяется бинарная матрица \mathbf{D}^u , устанавливающая соответствие связи между элементами СФТС РЛС и рассматриваемыми РЛТ. Матрица \mathbf{D}^u содержит элементы $d_{rp}^u = \{0, 1\}$. При этом если РЛТ t_r оказывает влияние на элемент СФТС (подсистему РЛС), то $d_{rp}^u = 1$, в противном случае $d_{ij}^u = 0$:

$$\mathbf{D}^u = \left\| d_{rp}^u \right\| = \begin{array}{c} \text{фэ}_1 \quad \text{фэ}_2 \quad \dots \quad \text{фэ}_m \quad \dots \quad \text{фэ}_P \\ \begin{array}{c} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_r \\ \dots \\ t_R \end{array} \end{array} \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{array} \right\|. \quad (12)$$

Результаты, полученные всеми экспертами, объединяются следующим образом:

$$d_{rp} = \frac{1}{U_{rp}} \sum_{u=1}^{U_{rp}} d_{rp}^u, \quad (13)$$

$$\mathbf{D} = \|\|d_{rp}\|\|,$$

где U_{rp} — число экспертов, считающих, что r -я РЛТ оказывает влияние на p -й функциональный элемент РЛС (СФТС), $U_{rp} \leq U$.

4. Определяется значимость РЛТ относительно выбранных и ранжированных технических характеристик (функциональных элементов СФТС). Осуществляется экспертная оценка РЛТ по соответствующим функциональным элементам СФТС РЛС (техническим критериям). На основе экспертных оценок с учетом матрицы \mathbf{D} строится матрица $\mathbf{C}^{\Phi \varepsilon_u}$ следующего вида:

$$\mathbf{C}^{\Phi \varepsilon_u} = \begin{matrix} & \Phi \varepsilon_1 & \Phi \varepsilon_2 & \cdots & \Phi \varepsilon_m & \cdots & \Phi \varepsilon_P \\ \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \cdots \\ t_r \\ \cdots \\ t_R \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} c_{11}^u & c_{12}^u & \cdots & c_{1p}^u & \cdots & c_{1P}^u \\ c_{21}^u & c_{22}^u & \cdots & c_{2p}^u & \cdots & c_{2P}^u \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdot \\ c_{r1}^u & c_{r2}^u & \cdots & c_{rp}^u & \cdots & c_{rP}^u \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdot \\ c_{R1}^u & c_{R2}^u & \cdots & c_{Rp}^u & \cdots & c_{RP}^u \end{matrix} \right\|, \end{matrix} \quad (14)$$

где c_{rp}^u — результат оценивания степени влияния r -й РЛТ на p -й элемент СФТС u -м экспертом.

5. Проводится взвешивание альтернатив. При необходимости эксперт или лицо, принимающее решение, может изменить веса рассматриваемых альтернатив. Такая необходимость возникает, когда целесообразно повышение приоритетов альтернатив, образующих большие группы, и снижение приоритетов альтернатив в группах, где число альтернатив сравнительно небольшое. Это обусловлено тем, что если альтернатив в группе много, то каждая из них получит относительно меньший составной приоритет, чем каждая альтернатива, входящая в меньшую группу с низким приоритетом критерия. Для такого взвешивания в [8] предлагается использовать диагональную матрицу \mathbf{L} , которая отображает так называемый структурный критерий.

Матрица \mathbf{L} имеет следующий вид:

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} \phi_{\varepsilon_1} & \phi_{\varepsilon_2} & \dots & \phi_{\varepsilon_m} & \dots & \phi_{\varepsilon_P} \\ R_1/N_{\Sigma} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_2/N_{\Sigma} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & R_p/N_{\Sigma} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & R_P/N_{\Sigma} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где R_p — число РЛТ, оказывающих влияние на p -й элемент СФТС РЛС ($R_p \in R$); $N_{\Sigma} = \sum_{p=1}^P R_p$ — суммарное число РЛТ, оказывающих влияние на все элементы СФТС.

С учетом использования процедуры взвешивания (структурного критерия) вектор значимости (вектор приоритетов) определяется следующим выражением:

$$\mathbf{W}_T^{*\phi^{\varepsilon}} = \begin{pmatrix} w_{T_1}^{*\phi^{\varepsilon}} \\ w_{T_2}^{*\phi^{\varepsilon}} \\ \dots \\ w_{T_R}^{*\phi^{\varepsilon}} \end{pmatrix} = \mathbf{C}^{\phi^{\varepsilon}} \mathbf{L} \mathbf{W}^{\phi^{\varepsilon}}. \quad (16)$$

6. На основе полученного вектора приоритетов формируется перечень РЛТ, ранжированный по степени влияния на функциональные элементы СФТС обобщенного образца РЛС (предложенные технические характеристики):

$$\mathbf{T}^{\phi^{\varepsilon}} = \|\| t_1^{\phi^{\varepsilon}} \quad t_2^{\phi^{\varepsilon}} \quad \dots \quad t_r^{\phi^{\varepsilon}} \quad t_R^{\phi^{\varepsilon}} \|\|.$$

Методика формирования обобщенного перечня критических военных РЛТ. Результаты оценивания РЛТ по каждому из приведенных методов позволяют сформировать два вектора приоритетов РЛТ — “тактический” критерий, учитывающий степень влияния технологий на основные направления повышения боевых возможностей РЛВ ($T^{\text{тп}}$) и “технический” ($T^{\phi^{\varepsilon}}$), учитывающий степень влияния технологий на элементы СФТС РЛС. Для формирования окончательного перечня радиолокационных КВТ необходимо объединить полученные оценки. Объединение оценок осуществляется с использованием метода TOPSIS, применение которого позволяет провести нормировку (ранжирование) РЛТ, имеющих различные оценки по тактическому и техническому критериям [8]. Алгоритм ранжирования РЛТ с учетом их комплексного влияния на тактические и технические характеристики РЛВ на основе метода TOPSIS предусматривает следующую последовательность действий (рис. 4):

1. Формируется матрица оценок $[F]$, т.е. проводится объединение оценок, полученных по каждому критерию, в одну матрицу вида

$$[F] = \begin{matrix} & T^{np} & T^{фз} \\ \begin{matrix} T_{B11} & T_{T12} \\ T_{B21} & T_{T22} \\ \dots & \dots \\ T_{Br11} & T_{Tr12} \\ T_{BR1} & T_{TR2} \end{matrix} \end{matrix}. \quad (17)$$

2. Определяется относительная важность тактического и технического критериев в соответствии с рассмотренными ранее математическими выкладками.

3. Формируется взвешенная матрица решений $[Q]$. Каждый столбец матрицы $[F]$ умножается на соответствующий весовой коэффициент критериев:

$$[F] = \begin{matrix} & T^{np} & T^{фз} \\ \begin{matrix} \nu_B T_{B11} & \nu_T T_{T12} \\ \nu_B T_{B21} & \nu_T T_{T22} \\ \dots & \dots \\ \nu_B T_{Br11} & \nu_T T_{Tr12} \\ \dots & \dots \\ \nu_B T_{BR1} & \nu_T T_{TR2} \end{matrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{matrix} \chi_{11} & \chi_{12} \\ \chi_{21} & \chi_{22} \\ \dots & \dots \\ \chi_{r1} & \chi_{r2} \\ \dots & \dots \\ \chi_{R1} & \chi_{R2} \end{matrix} \end{matrix}. \quad (18)$$

4. Для определения “идеального” варианта и “отрицательного идеала” в имеющееся множество взвешенных оценок РЛТ вводятся условно два объекта β^+ (“положительный идеал”) и β^- (“отрицательный идеал”) следующим образом:

$$\beta^+ = (\chi_1^+, \chi_2^+, \dots, \chi_R^+), \quad \chi_r^+ = \max_{1 \leq r \leq R} (\chi_{ri}), \quad i = 1, 2, \quad (19)$$

$$\beta^- = (\chi_1^-, \chi_2^-, \dots, \chi_R^-), \quad \chi_r^- = \min_{1 \leq r \leq R} (\chi_{ri}), \quad i = 1, 2. \quad (20)$$

Затем определяются характеристики “идеального” варианта и точка отрицательного идеала в соответствии с выражениями:

$$\beta^+ = (\max_r \chi_{r1}, \max_r \chi_{r2}), \quad (21)$$

$$\beta^- = (\min_r \chi_{r1}, \min_r \chi_{r2}). \quad (22)$$

5. Рассчитывается мера разделения.

В качестве меры разделения весов РЛТ (объектов) используется евклидово расстояние в пространстве критериев. Расстояние от каждой

технологии до “идеального” варианта рассчитывается по формуле

$$D_r^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (\chi_{ri}^+ - \chi_{ri})^2}. \quad (23)$$

Аналогично рассчитывается расстояние до “отрицательного идеала”:

$$D_r^- = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (\chi_{ri}^- - \chi_{ri})^2}. \quad (24)$$

6. Проводится расчет относительной близости к “идеальному” решению.

Вводится система координат, в которой по оси X откладываются значения D_r^+ , а по оси Y — D_r^- . Точка (D_r^+, D_r^-) представляет собой каждую ранжируемую РЛТ в двумерной плоскости. Точка A ($\min(D_i^+)$, $\max(D_i^-)$) представляет собой “положительный идеал”. Близость к идеальному решению рассчитывается по формуле

$$W_r = \frac{D_r^-}{D_r^- + D_r^+}. \quad (25)$$

7. Формируется обобщенный перечень критических военных РЛТ.

Отнесение технологий к разряду критических осуществляется после ранжирования РЛТ по мере убывания значения W_r , характеризующего их важность для введенных тактико-технических характеристик перспективного РЛВ. Затем экспертным путем определяется граничное значение W_r и все технологии, важность которых больше этого значения, считаются критическими, а остальные — кандидатами в критические. Отобранные технологии формируют обобщенный перечень КВТ ($E^{KP} = \|t_1^{kp} \ t_2^{kp} \ \dots \ t_r^{kp} \ \dots \ t_R^{kp}\|$, ранжированных по степени влияния на выбранные тактические и технические характеристики РЛВ.

Сформированный на основе указанных методик перечень критических военных радиолокационных технологий может служить основой для формирования программных мероприятий по созданию радиолокационных технологий в рамках соответствующего подраздела ГПВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зиновьев А.В.* Обобщенный анализ применения средств воздушного нападения ОВС НАТО при проведении военной операции в Югославии “Решительная сила” и в других локальных войнах в 1990-х годах. Саратов: СГТУ, 2003.
2. *Лавренов С.Я.* Война XXI века: Стратегия и вооружение США. М.: ООО “Издательство АСТ”, 2005.
3. *Современное вооружение в войне: под ред. Панова В.В. и Прядилова С.М.* М.: Изд-во Вооружение. Политика. Конверсия, 1994.

4. Корляков В.В. Радиолокация на современном этапе // ВКО. 2006. № 6.
5. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2002.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989.
7. Ивлев А.А., Николаев А.И., Макуха В.С., Полубехин А.И. Возможная методика определения перечня критических радиолокационных технологий / Радиооптические технологии в приборостроении. Тезисы докладов IV научно-технической конференции. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
8. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: Изд-во КУПОЛ, 2009.

REFERENCES

1. Zinov'ev A.V. Obobshchennyy analiz primeneniya sredstv vozdushnogo napadeniya OVS NATO pri provedenii voennoy operatsii v Yugoslavii "Reshitel'naya sila" i v drugih lokal'nykh voynakh v 1990-kh godakh [A generalized analysis of NATO's air forces military operations in Yugoslavia (code-name Operation Allied Force) and other local wars in the 1990s]. Saratov, Saratov State Tech. Univ. Publ., 2003.
2. Lavrenov S.Ya. Voyna 21 veka: Strategiya i vooruzhenie SShA [War of the twenty-first century: Strategy and the U.S. arms]. Moscow, AST Publ., 2005.
3. Panov V.V., Pryadilov S.M. Sovremennoe vooruzhenie v voyne [Military weapons]. Moscow, Vooruzhenie, politika, konvers. Publ., 1994. 284 p.
4. Korlyakov V.V. Radiolocation at the current stage, *Vozdushn. Kosm. Oborona* [Aerosp. Def.], 2006, no. 6. Available at: <http://vko.ru/site/347/logon.aspx> (Accessed 1 Sept. 2012)
5. Andreychikov A.V., Andreychikova O.N. Analiz, sintez, planirovanie resheniy v ekonomike [Analysis, synthesis, and making decisions in economics]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2002. 363 p.
6. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York, McGraw Hill, 1980. 287 p. (Russ. ed.: Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy. Moscow, Radio i Svyaz' Publ., 1989. 316 p.)
7. Ivlev A.A., Nikolaev A.I., Makukha V.S., Polubekhin A.I. A new feasible technique for determining the list of radar critical technologies. *Tezisy dokladov 6 nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Radioopticheskie tekhnologii v priborostroenii"* [Proc. 6th Sci.-Tech. Conf. "Radio-optical technologies in instrumental engineering"]. Moscow, Bauman Moscow State Tech. Univ. Publ., 2007 (in Russ.).
8. Burenok V.M., Ivlev A.A., Korchak V.Yu. Razvitie voennykh tekhnologiy 21 veka: problemy, planirovanie, realizatsiya [Development of military technologies in 21st century: problems, planning, implementation]. Tver', KUPOL Publ., 2009, 624 p.

Статья поступила в редакцию 14.01.2013

Е.А. Старожук — канд. эконом. наук, проректор по экономике и инновациям МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области боеприпасов, радиолокационных технологий и проблем взаимодействия высшей школы с предприятиями оборонно-промышленного комплекса.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

E.A. Starozhuk — Cand. Sci. (Econ.), pro-rector on economics and innovations of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications in the field of ammunition, radar technologies and problems of higher school interaction with enterprises of defense industry complex.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

Е.М. Ильин — д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий аналитик Управления перспективных межвидовых исследований и специальных проектов МО РФ. Автор более 150 научных работ в области радиолокации, навигации и связи.

Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов МО РФ, Россия, 119160, Москва, Москворецкая наб., д. 9а.

E.M. Il'in — Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, leading analyst of the Innovation Technological Center of the Complex for Scientific Policy of Ministry of Defence of the Russian Federation. Author of more than 150 publications in the field of radar, navigation, and communication.

Administration of Advanced Interspecific Research and Special Projects of Ministry of Defence of the Russian Federation, Moskvoretskaya nab., 9a, Moscow, 119160 Russia.

А.И. Николаев — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГУП “46 ЦНИИ МО РФ”. Автор более 160 научных работ в области радиолокации, навигации, связи, высокоточного и нетрадиционного оружия.

ФГУП “46 ЦНИИ МО РФ”, Россия, 129327, Москва, Чукотский пр., д. 8.

A.I. Nikolaev — Dr. Sci. (Eng.), professor, leading researcher of the 46th Central Research Institute of Ministry of Defence of the Russian Federation. Author of more than 160 publications in the field of radar, navigation, communication, high-precision and nontraditional weapons.

The 46th Central Research Institute of Ministry of Defence of the Russian Federation, Chukotskii proezd, 9, Moscow, 129327 Russia.

А.И. Полубехин — канд. техн. наук, старший научный сотрудник инновационного технологического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области радиолокационной техники и технологий, систем навигационного обеспечения перспективных образцов вооружения.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

A.I. Polubekhin — Cand. Sci. (Eng.), senior researcher of the Innovation Technological Center of the Complex for Scientific Policy of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of radar engineering and technologies, systems of navigational support of advanced weapon models.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

С.Г. Брайткрайтц — д-р техн. наук, старший научный сотрудник ФГУП “46 ЦНИИ МО РФ”. Автор более 60 научных работ в области навигации, радиолокации и высокоточного оружия.

ФГУП “46 ЦНИИ МО РФ”, Россия, 129327, Москва, Чукотский пр., д. 8.

S.G. Braitkraits — Dr. Sci. (Eng.), senior researcher of the 46th Central Research Institute of Ministry of Defence of the Russian Federation. Author of more than 60 publications in the field of navigation, radar, and high-precision weapons.

The 46th Central Research Institute of Ministry of Defence of the Russian Federation, Chukotskii proezd, 9, Moscow, 129327 Russia.