

Д.М. Бывших, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
С.Г. Зеленская, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
Ю.Н. Ярыгин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Методика сравнительного анализа отечественных и зарубежных технологий создания радиоэлектронной техники военного назначения

Предлагается методика сравнительного анализа уровня развития отечественных и зарубежных технологий создания радиоэлектронной техники военного назначения, основанная на построении и анализе иерархической структуры показателей эффективности этих технологий. Обоснована структура показателей. Разработано оригинальное программное обеспечение, позволяющее в значительной степени сократить трудоемкость расчетов.

Одним из этапов обоснования перспектив развития базовых военных и критических технологий создания радиоэлектронной техники (РЭТ) военного назначения (ВН) является сравнительный анализ динамики и тенденций отечественных и зарубежных технологий [1-4]. Однако такой анализ проводился ранее преимущественно на качественном уровне. Актуальность разработки методики обусловлена потребностью обоснования перспектив развития технологий создания РЭТ ВН на основе результатов количественного сравнительного анализа отечественных и зарубежных технологий и выявления рациональных направлений развития отечественных технологий создания РЭТ ВН [5, 6]. Например, для техники радиоэлектронной борьбы (РЭБ) характерно разнообразие применяемых технологий создания и применения [7]. Это обусловлено широким спектром выполняемых задач РЭБ, конструктивными особенностями (по размещению на различных носителях, исполнению, уровню интеграции с другими радиоэлектронными комплексами), различным техническим уровнем образцов (средства, комплексы, системы РЭБ), необходимостью обеспечения живучести, защищенности от различных поражающих факторов и т. д. При больших объемах анализируемой исходной информации качественные оценки становятся малоэффективными, что обуславливает необходимость разработки количественного метода анализа.

Цель методики заключается в выявлении «узких» мест в развитии отечественных технологий создания РЭТ ВН и научном обосновании целесообразности проведения исследований и разработок в области технологий РЭТ ВН по направлениям, считающимся актуальными и перспективными за рубежом.

Под технологией создания РЭТ ВН будем понимать совокупность знаний и документированных данных о принципах, приемах, технических и конструктивных решениях создания и способах применения РЭТ ВН [6, 8].

Методика применяется на этапе разработки предложений в Программу развития базовых военных и критических технологий в области создания РЭТ ВН [2, 9-11]. В общем «для формирования перечня... (технологий)... решается задача многокритериального коллективного оценивания технологий» [2, с. 26]. В частности, в рамках предлагаемой методики отечественные и зарубежные технологии РЭТ ВН сравниваются по комплексу показателей [12, 13], которые, в свою очередь, оцениваются на относительную важность для последующего учета их весомости с целью наиболее адекватной сравнительной оценки. В зависимости от целей проводимого срав-

нительного анализа [14-19] методика позволяет оценивать как современный уровень развития технологий РЭТ ВН, так и уровень, ожидаемый в результате проведения предлагаемых к постановке НИОКР в интересах развития технологий.

В методике последовательно решаются задачи построения иерархической структуры показателей важности технологий РЭТ ВН, оценки их весомости, оценки уровня развития технологии по предложенным показателям и расчета обобщенного показателя «превосходства» уровня развития отечественной технологии РЭТ ВН относительно зарубежной [1].

Иерархическая структура показателей представлена на рисунке 1. Состав показателей приведен в таблице 1. Используемые вербально-цифровые шкалы представлены в работах [14, 19-21].

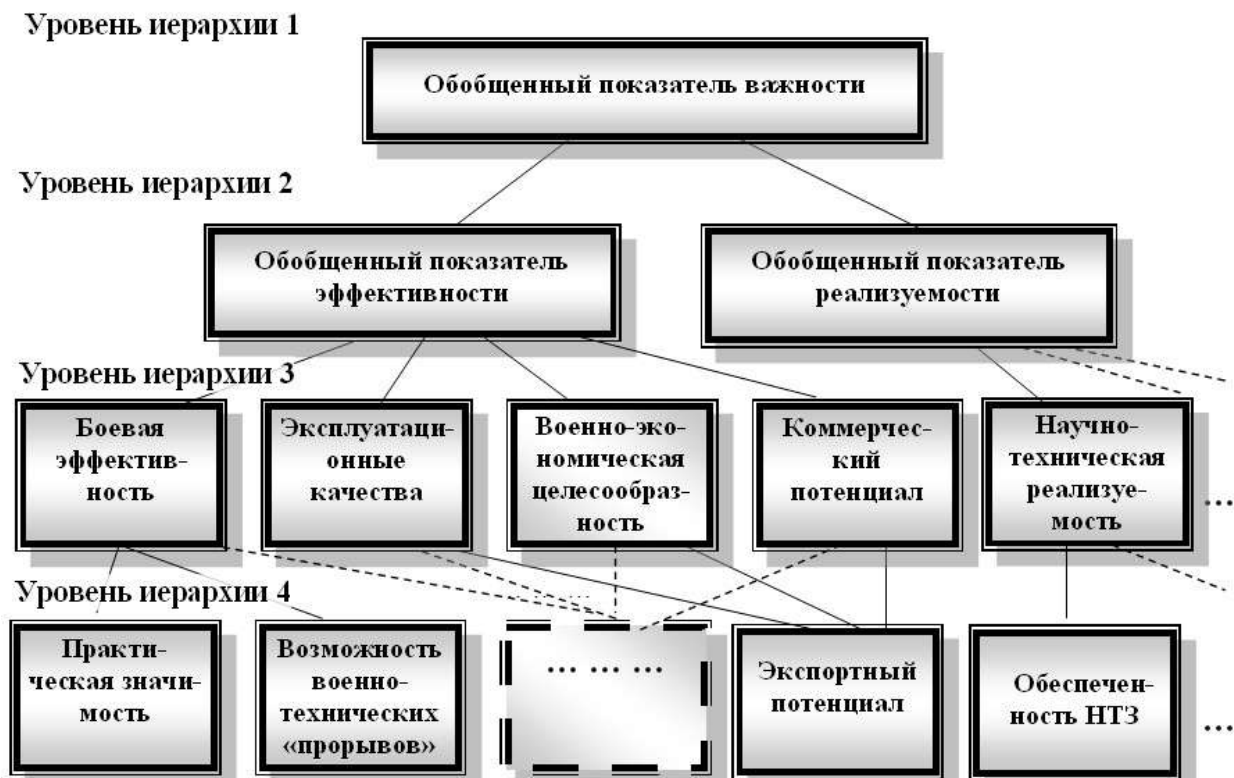


Рисунок 1 – Иерархическая структура показателей

Обобщенный алгоритм решения задачи заключается в следующем [20]: формируется иерархическая структура показателей важности технологий РЭТ ВН, уточняется характер взаимодействия между показателями важности (рисунок 1); проводятся экспертные оценки относительной важности показателей. Формируется матрица попарных сравнений показателей важности; рассчитываются коэффициенты относительной важности показателей; оцениваются уровни развития технологии в РФ и за рубежом с использованием предложенных вербально-цифровых шкал значений показателей; рассчитывается значение обобщенного показателя «превосходства» уровня развития технологии в РФ относительно зарубежного.

Процедура оценки относительной важности методом анализа иерархий достаточно полно описана в открытой литературе и приведение ее в рамках настоящей статьи нецелесообразно. В методике используется универсальная шкала Саати [21], используемая при сравнении показателей (уровни иерархии 2-4) по их вкладу в показатель ближайшего верхнего уровня. Для сравнения технологий используются специализированные шкалы [14, 19, 22].

При использовании таких шкал в матрицах выбираются значения, соответствующие отечественной и зарубежной технологии. Например, уровень развития некоторой гипотетической тех-

нологии в аспекте разработок, результаты которых могут быть использованы в различных системах РЭТ ВН и другого вооружения, военной и специальной техники, оценивается как 7, для зарубежных – 5 (возможные значения от 1 до 9).

Таблица 1 – Перечень показателей и рассчитанные значения коэффициентов их относительной важности

Уровень иерархии	Показатель	Значение коэффициента
1	Обобщенный показатель важности	1,00
2	Показатель эффективности	0,877
	Показатель реализуемости	0,123
3	Боевая эффективность	0,336
	Эксплуатационные качества	0,072
	Военно-экономическая целесообразность	0,061
	Коммерческий потенциал	0,03
	Научно-техническая реализуемость	0,206
	Технологическая реализуемость	0,135
	Реализуемость по ресурсам	0,12
Временная реализуемость	0,04	
4	Практическая значимость технологии в аспекте возможности применения в различных системах вооружений	0,115
	Возможность военно-технических «прорывов», т. е. обеспечения качественного прироста эффективности или создания новых способов и методов вооруженной борьбы в области РЭТ ВН, повышения живучести, эксплуатационных и эргономических показателей	0,196
	Научно-технический уровень – новизна (нет аналогов, или развитие известных подходов, качественно меняющих эффективность, или улучшение ТТХ, или новое применение известных образцов)	0,145
	Уровень развития научно-технического и технологического задела	0,085
	Возможности «двойной» реализации (в том числе и в гражданской сфере)	0,076
	Степень поддержки научно-технической базы (Е6)	0,051
	Уровни ТТХ	0,091
	Уровень готовности разработок по технологии для практической реализации	0,069
	Потенциал модернизации	0,029
	Экспортный потенциал	0,025
	Обеспеченность научно-техническим заделом (НТЗ)	0,023
	Обеспеченность материальными ресурсами	0,012
	Обеспеченность научно-техническими и трудовыми ресурсами	0,013
	Обоснованность содержания работ	0,007
	Обоснованность продолжительности работ и сроков их выполнения	0,022
	Обеспеченность материалами и комплектующими (R6)	0,009
	Обеспеченность по возможностям научно-производственных баз	0,010
Соответствие тематики НИОКР специализации исполнителей	0,016	
Обеспеченность по кооперации	0,006	

Далее для сформированных матриц в соответствии с известными вычислительными процедурами алгебры матриц определяются собственные векторы матриц попарных сравнений, соответствующие их максимальным собственным значениям. Координаты этих собственных векторов и есть значения важности элементов одного уровня по отношению к элементам (элементу) ближайшего верхнего уровня, т. е. числовые значения коэффициентов относительной важности. Алгоритм расчета коэффициентов относительной важности реализован на ПЭВМ [23].

Расчетное соотношение для оценки показателя «превосходства» уровня развития технологии имеет вид:

$$P = \eta \sum_{i=1}^I w_i (Y_i^o - Y_i^z), \quad (1)$$

где P – показатель «превосходства» уровня развития технологии относительно зарубежного;

w_i – относительная важность i -го показателя, рассчитанная в соответствии с [21];

Y_i^o, Y_i^z – оценки уровней развития отечественной и зарубежной технологии РЭТ ВН соответственно по i -му показателю;

I – число показателей, по которым сравниваются технологии ($I=19$);

η – нормировочный коэффициент, здесь $\eta = \frac{1}{9-1} = 0,125$, поскольку интервал возможных значений оценки уровня развития технологий лежит в пределах от 1 до 9.

Значение показателя P изменяется в пределах от -1 до 1 , положительно при превосходстве уровня отечественной технологии и отрицательно при отставании. Значение близкое к нулю означает паритет. При значении показателя -1 можно говорить о критическом отставании в развитии технологии.

В качестве исходных данных используется информация о мероприятиях (ведущихся и планируемых фундаментальных и поисковых исследованиях, научно-исследовательских работах и опытно-конструкторских разработках) в интересах развития технологии. Кроме того, используется доступная информация о возможностях и специализации предполагаемых исполнителей работ и информация о накопленном научно-техническом и технологическом заделе, включая образцы РЭТ ВН, их ТТХ, новейших достижениях в способах применения образцов РЭТ ВН. На основе этой информации эксперты заполняют матрицы попарных сравнений. При двух экспертах и более экспертные оценки усредняются. Отсутствие информации для оценки какого-либо частного показателя не является критичным, в этом случае считается, что они имеют одинаковую значимость и для обоих попарно сравниваемых показателей в качестве оценки в матрице попарных сравнений выставляется 1 («одинаковая значимость»). При сравнении уровня технологии и отсутствии необходимой информации проставляются равные значения для отечественного и зарубежного уровня. Результаты расчетов могут уточняться по мере накопления необходимых исходных данных.

Выходными данными являются значение обобщенного показателя «превосходства».

Пример расчета. В качестве гипотетического примера проведем сравнительный анализ существующего уровня развития технологии создания и применения средств помех системам радиосвязи (отечественных и зарубежных).

На основе доступной информации экспертами заполняются матрицы попарных сравнений и вычисляются коэффициенты относительной важности на каждом уровне иерархии.

Шаг 1. Сравниваются показатели эффективности и реализуемости. Пусть экспертами принято, что предпочтение эффективности перед реализуемостью очень сильно. Матрица попарных сравнений примет следующий вид (таблица 2).

Таблица 2 – Пример матрицы попарных сравнений

	Показатель эффективности	Показатель реализуемости
Показатель эффективности	1	7
Показатель реализуемости	0,14	1

Определяем собственный вектор (коэффициенты относительной важности) для рассматриваемых показателей одним из методов, приведенных в [21] (таблица 3).

Таблица 3 – Пример нахождения относительной важности

	Элементы матрицы		Произведение элементов	Квадратный корень из произведения	Относительная важность
	Показатель эффективности	Показатель реализуемости			
Показатель эффективности	1	7	1·7=7	2,65	2,65/3,02= 0,877
Показатель реализуемости	0,14	1	0,14·1=0,14	0,37	0,37/3,02= 0,123
Сумма				3,02	1,00

Рассчитанные коэффициенты относительной важности на верхнем уровне иерархии равны 0,877 для эффективности и 0,123 для реализуемости.

Шаги 2, 3. Аналогично рассчитываются коэффициенты относительной важности других показателей на втором и третьем уровне иерархии. Для их расчета используем прикладную программу для ПЭВМ¹. Результаты оценки относительной важности показателей приведены в таблице 1.

Шаг 4. Определяем количественные оценки уровней развития технологии у нас и за рубежом. В качестве примера приведем шкалу для оценки показателя «Уровни ТТХ» (таблица 1). Выбираем значение 5 для отечественной технологии и 1 – для зарубежной.

Таблица 4 – Шкала для количественных сравнительных оценок «уровней ТТХ» [14]

Оценка	Определение	Y_i^o	Y_i^z
1	Критическое отставание от мирового уровня		+
3	Отставание от мирового уровня по всем основным ТТХ		
5	Порядка 50% основных ТТХ соответствуют мировому уровню	+	
9	Уровни основных ТТХ соответствуют мировым уровням		

Шаг 5. Оцениваем уровни развития технологий. Последовательно рассчитываем $Y_i^o - Y_i^z$, $w_i(Y_i^o - Y_i^z)$, $\sum_{i=1}^I w_i(Y_i^o - Y_i^z)$ (таблица 5). Определяем значение P .

Таблица 5 – Результаты оценки показателя «превосходства»

Показатель	w_i	Y_i^o	Y_i^z	$w_i(Y_i^o - Y_i^z)$
1	2	3	4	5
Практическая значимость технологии...	0,115	7	5	0,23
Возможность военно-технических «прорывов»...	0,196	7	7	0
Научно-технический уровень...	0,145	7	9	-0,29
Уровень развития научно-технического и технологического задела	0,085	9	7	0,170
Возможности «двойной» реализации	0,076	5	3	0,152
Степень поддержки научно-технической базы	0,051	9	3	0,306
Уровни ТТХ	0,091	5	1	0,240
Уровень готовности разработок для практической реализации	0,069	5	7	-0,138
Потенциал модернизации	0,029	9	5	0,116
Экспортный потенциал	0,025	7	7	0,000
Обеспеченность научно-техническим заделом	0,023	9	7	0,046
Обеспеченность материальными ресурсами	0,012	7	7	0,000

1 Орлов В.А., Аносов Р.С, Боев А.С., Бывших Д.М. Программа определения приоритетности технологий РЭБ // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662384.

Таблица 5 (продолжение)

1	2	3	4	5
Обеспеченность научно-техническими и трудовыми ресурсами	0,013	7	5	0,026
Обоснованность содержания работ	0,007	7	5	0,014
Обоснованность продолжительности работ и сроков их выполнения	0,022	5	5	0,000
Обеспеченность материалами и комплектующими	0,009	5	7	-0,018
Обеспеченность по возможностям научно-производственных баз	0,010	9	9	0,000
Соответствие тематики НИОКР специализации исполнителей	0,016	9	7	0,032
Обеспеченность по кооперации	0,006	9	3	0,036
$\sum_{i=1}^I w_i (Y_i^o - Y_i^z) = 0,922$				
$P = \eta \sum_{i=1}^I w_i (Y_i^o - Y_i^z) \approx 0,115$ (незначительное превосходство)				

По предлагаемой методике авторами на основе данных ряда работ [24-28] проведен обобщенный сравнительный анализ отечественных и зарубежных технологий в области радиоэлектроники, являющихся базовыми для создания техники РЭТ ВН. Проведены оценки состояния технологий на 2010 год и сделан прогноз их развития на 2027 год с учетом содержания перспективных планов развития радиоэлектроники в РФ¹ и динамики развития зарубежных технологий [29-32]. Результаты приведены на рисунке 2.

Таким образом, предложенная методика сравнительного анализа отечественных и зарубежных технологий в области разработки и производства техники РЭТ ВН в отличие от ранее применявшихся позволяет:

- проводить сравнительный анализ технологий РЭТ ВН на количественной основе и тем самым удовлетворить потребности разработчиков отечественной техники РЭТ ВН в возможности применять адекватный инструмент оценки технологического совершенства создаваемых образцов, а, следовательно, и степени соответствия имеющейся технологической базы мировому уровню;
- выявлять «узкие места» в развитии отечественных технологий в области разработки и производства техники РЭТ ВН, причины возможного отставания от мирового уровня развития аналогичных технологий. Преодоление этих причин ускорит инновационное развитие техники РЭТ ВН по направлениям, считающимся актуальными и перспективными как в РФ, так и за рубежом;
- определять с учетом возможностей научно-технической и производственной базы рациональную совокупность мероприятий в интересах технологий РЭТ ВН [2, 3], реализация которых позволит достичь паритета в уровне развития этих технологий с ведущими зарубежными странами или превзойти этот уровень по наиболее важным направлениям;
- заблаговременно создавать в органах управления Минобороны и организациях оборонно-промышленного комплекса системы поддержки принятия решений (нормативно-расчетную

1 Стратегия развития электронной отрасли России до 2025 года (утв. приказом Министерства промышленности и энергетики РФ от 7 августа 2007 г. № 311) // http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99457 (дата обращения: 07.12.2018); Государственная программа Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 329) // http://www.sovel.org/images/upload/ru/1220/gosprogramma_rep_novaya_redakciy__oktyabr2015.pdf (дата обращения: 07.12.2018); Федеральная целевая программа «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 26 апреля 2007 г. № 809) // <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2010/246> (дата обращения: 07.12.2018).

базу) для планирования совершенствования отечественных технологий РЭТ ВН в соответствии с требованиями мировых тенденций технологического развития.

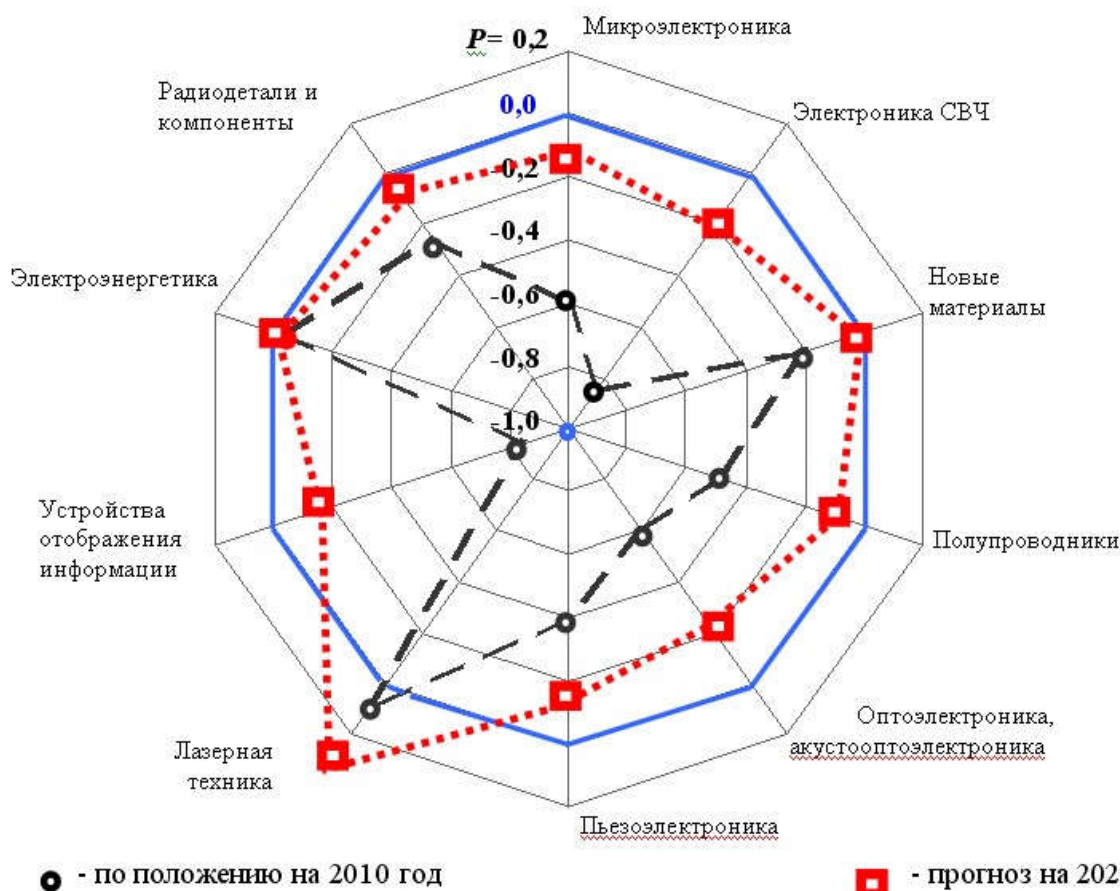


Рисунок 2 – Сравнительный анализ отечественных и зарубежных технологий в области радиоэлектроники

Список использованных источников

1. Соколов А.В. Метод критических технологий // Форсайт. – 2007. – № 4. – С. 64-74.
2. Смирнов С.С., Реулов Р.В. Проблемные вопросы формирования и использования перечня базовых и критических военных технологий и пути их решения // Двойные технологии. – 2010. – № 2. – С. 25-31.
3. Кравченко А.Ю., Смирнов С.С., Реулов Р.В., Хованов Д.Г. Роль научно-технического задела в инновационных процессах создания перспективного вооружения: проблемы и пути решения // Вооружение и экономика. – 2012. – № 4. – С. 41-55.
4. DARPA и наука Третьего рейха. Оборонные исследования США и Германии / Под ред. А.Е. Суворова – М.: Техносфера, 2015. – 208 с.
5. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. – М.: Граница, 2007. – 408 с.
6. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: Купол, 2009. – 624 с.
7. Маевский Ю.И. Система вооружений РЭБ: основные направления исследований // Военная мысль. – 2005. – № 11. – С. 9-14.

8. Козирацкий Ю.Л., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Обоснование технологий развития системы радиоэлектронной борьбы. Применение морфологических методов // Вооружение и экономика. – 2016. – № 1. – С. 33-43.
9. Леонов А.В., Смирнов С.С., Хованов Д.Г. Адаптивный подход к определению объемов ассигнований на развитие базовых и критических военных технологий // Вооружение и экономика. – 2012. – № 5. – С. 47-59.
10. Корчак В.Ю., Кравченко А.Ю., Смирнов С.С., Реулов Р.В. Программно-целевое планирование развития базовых военных технологий на современном этапе // Вооружение и экономика. – 2017. – № 4. – С. 9-20.
11. Леонов А.В., Семериков Н.В., Пронин А.Ю. Техничко-экономическая оценка эффективности совместного использования новых и традиционных технологий при проектировании наукоемкой продукции двойного назначения // Двойные технологии. – 2015. – № 2. – С. 38-45.
12. Буравлев А.И., Буренок В.М., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники. – СПб.: ВАТТ, 2011. – 142 с.
13. Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. К оптимальному управлению показателями эффективности парка измерительной техники // Вестник МГСУ. – 2017. – № 5. – С. 564-571.
14. Луценко А.Д., Бывших Д.М., Шарапов А.И. Методика оценки относительной важности технологий создания специальных систем разведки и информационного обеспечения // Вооружение и экономика. – 2008. – № 3. – С. 31-49.
15. Батьковский М.А., Кравчук П.В., Фомина А.В. Развитие методов и инструментария экономической оценки технологий и НИОКР // Вопросы радиоэлектроники. – 2015. – № 1. – С. 186-201.
16. Батьковский А.М., Батьковский М.А., Фомина А.В. Оптимизация программных мероприятий развития оборонно-промышленного комплекса. – М.: Тезаурус, 2014. – 504 с.
17. Батьковский А.М., Кравчук П.В. Развитие методологии оценки технологий // Сб. науч. трудов по материалам I международной научно-практической конференции «Национальный менеджмент: проблемы и перспективы развития», Нижний Новгород, 25 марта 2016 г. – Нижний Новгород: Профессиональная наука. – 2016. – С. 157-178.
18. Батьковский М.А., Кравчук П.В., Фомина А.В. Экономическая оценка технологий двойного назначения // Вопросы радиоэлектроники. – 2015. – № 4. – С. 222-231.
19. Смирнов С.С., Тужиков Е.З., Хованов Д.Г., Горбунов В.В. Методика комплексной оценки готовности научно-технического задела для перспективного образца вооружения, военной и специальной техники // Стратегическая стабильность. – 2013. – № 2. – С. 39-44.
20. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархии. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
21. Саати Т., Керне К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
22. Бывших Д.М., Орлов В.А., Ярыгин Ю.Н. Методический подход к обоснованию приоритетных направлений сосредоточения усилий в развитии многофункциональной организационно-технической системы военного назначения // Вооружение и экономика. – 2014. – № 3. – С. 51-61.
23. Орлов В.А., Бывших Д.М., Ярыгин Ю.Н. Автоматизация процессов планирования развития техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. – 2015. – № 4. – С. 75-83.
24. Бендиков М.А., Фролов И.Э., Ганичев Н.А. Финансовый потенциал развития научно-промышленного комплекса России // Аудит и финансовый анализ. – 2009. – № 6. – С. 139-148.
25. R&D Magazine. 2012 Global R&D Funding Forecast, December 2011. – P. 35.
26. Николаев А.Е. Развитие научно-технологического потенциала оборонно-промышленного комплекса России на основе реализации модели государственно-частного партнерства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 33. – С. 48-59.

27. Авдодин Б.Н. Стратегические аспекты развития радиоэлектронного комплекса // ИнВест-Регион. – 2006. – № 4. – С. 23-28.

28. Андреечкин А., Присяжнюк С., Шпак В. Формирование технической политики радиоэлектронного комплекса ОПК: задачи и основные направления создания перспективных доверенных отечественных систем связи // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. Научно-технический журнал. – 2017. – № 7. – С. 122-135.

29. Greenhalgh, Ch. Innovation, intellectual property, and economic growth / Ch. Greenhalgh, M. Rogers. – Princeton; Oxford: Princeton Univ. Press, 2010. – 366 p.

30. Быков И.М., Митянов И.В. Состояние и перспективы развития радиоэлектронных систем в вооруженных силах иностранных государств как объектов радиоэлектронной разведки и РЭБ // Наука и военная безопасность. – 2008. – № 2. – С. 61-64.

31. Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А. Зарубежные радиоэлектронные средства / Под ред. Ю.М. Перунова. В 4-х книгах. – М.: Радиотехника, 2010.

32. Radio-Electronics.com. Recourses and analysis for electronic engineers. URL: <https://www.radio-electronics.com/> (дата обращения: 07.12.2018).