

Доктор технических наук, профессор Николаев А.И.; кандидат технических наук, доцент Юрин А.Д.; Полубехин А.И.

Совершенствование научно-методического аппарата обоснования состава научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по развитию радиолокационных технологий на основе построения структурных функционально-технологических схем перспективных образцов радиолокационного вооружения¹

В статье показана необходимость совершенствования методического аппарата определения рационального варианта развития радиолокационных технологий при создании перспективных образцов вооружения и военной техники. Выявлены основные недостатки существующей системы планирования и управления созданием радиолокационных технологий для перспективных образцов вооружения и военной техники. Предложен методический аппарат определения рационального варианта развития радиолокационных технологий на основе учета важности радиолокационных технологий и возможности их применения в основных системах радиолокационной станции.

Актуальность разработки методического аппарата определения рационального варианта развития радиолокационных технологий при создании перспективных образцов вооружения и военной техники

В настоящее время наблюдаются революционные изменения в структуре ВС развитых стран, формах и способах ведения операций (боевых действий), что обусловлено переходом к новому, постядерному этапу развития системы вооружения, при определяющей роли средств информационного обеспечения.

Сущность постядерного этапа заключается в выходе на качественно новый уровень вооружений, использующий достижения науки, фундаментальных исследований и опытно-конструкторских работ (ОКР) при мощной экономической поддержке в создании перспективных поколений систем вооружения. Другими словами, ставится задача по достижению и удержанию решающего военно-технического превосходства при ограничении и даже сокращении численности вооруженных сил, а в перспективе и сокращению военных расходов, при условии недопущения появления на мировой арене потенциального конкурента.

На этом этапе наука и технологии играют главенствующую роль в процессе создания

и развития вооружения и военной техники (ВВТ).

Развитие науки и технологий в ведущих зарубежных странах (США, Великобритания, Япония, Франция и Германия) осуществляется на основе эволюционно-технологического подхода к развитию вооружений [3]. Основные этапы эволюционно-технологического подхода к развитию ВВТ показаны на рисунке 1. Как видно из рисунка, современный этап развития систем вооружения характеризуется ориентацией на широкое использование новых знаний и наукоемких технологий.

Кратко остановимся на понятии технологии. В отечественной литературе приводятся различные трактовки термина «технология», в которых, несмотря на их кажущуюся разнородность, в большинстве случаев присутствует понятие «знание» или его синонимы [1, 2].

В [3] предложено следующее определение технологии как совокупности знаний и документированных данных о принципах, приемах и способах получения, переработки веществ, материалов, энергии и информации для создания изделий, узлов, агрегатов, составных частей, а также для решения организационных, управленческих, экономических, военных и других задач человеческой деятельности.

¹ Статья подготовлена в соответствии с грантом для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (№НШ-8.2008.10)





Рисунок 1 – Факторы технологического подхода к развитию вооружения

В соответствии с [3] под критическими радиолокационными технологиями понимаются технологии, обеспечивающие решение принципиально новых радиолокационных задач, существенный прирост тактико-технических характеристик радиолокационных станций или значительное снижение необходимых ресурсных затрат на разработку и модернизацию РЛС (РЭС).

Создание такого рода технологий, как правило, относится к задельной фазе создания вооружения и военной техники. В Российской Федерации научно-технический задел для вооружения и военной техники формируется в основном в Программе развития базовых военных технологий (10-я ПВ).

Поэтому в рамках данной статьи будут рассматриваться НИОКР 10-й ПВ, направленные на создание научно-технического задела в виде новых технологий для модернизации существующих и создания перспективных, в том числе нетрадиционных

радиолокационных средств, систем и комплексов ВВТ.

Опыт развития средств информационного обеспечения в наиболее развитых странах (США, Япония), показывает, что создание высокоэффективных радиолокационных средств осуществляется при мощной экономической поддержке государства. При этом расходы на развитие науки и технологий в военной сфере составляют значительную часть всего военного бюджета и ежегодно растут. Суммарно на проведение НИОКР по созданию радиолокационных технологий выделяется порядка 30 – 50 млрд. долларов в год.

Это позволяет создавать принципиально новые образцы радиолокационной техники с использованием самых передовых технологий. Анализ основных тактико-технических характеристик радиолокационных средств ведущих зарубежных стран показывает, что на основе внедрения перспективных технологий и применения новых технических решений перспективные радиолокационные

средства смогут обеспечить обнаружение целей практически всех типов, их сопровождение и распознавание.

В нашей стране ввиду резкого снижения государственных ассигнований на проведение исследований и разработок в области РЛС катастрофически сократилось количество и масштабность выполняемых НИОКР, многие научно-исследовательские коллективы распались или потеряли возможность проведения эффективных разработок, устаревает и приходит в упадок производственно-технологическая и испытательная база. Все это приводит к утрате созданного в предыдущий период научного задела, снижению технического уровня и, в конечном итоге, к необратимому отставанию от наиболее развитых стран Запада.

В этих условиях приоритетным путем совершенствования радиолокационной техники является использование научного потенциала страны, развитие мощной научно-технической и инновационной инфраструктуры в направлениях, которые будут определять технологический облик ВВТ в перспективе. Реализация этой стратегии требует привлечения значительных ресурсов на проведение исследований и создание новых дорогостоящих технологий и производств, при этом их финансирование сопряжено с высоким уровнем риска. Источники инвестиций для этих целей не могут быть сформированы в соответствующих отраслях промышленности, и требуется масштабное вложение бюджетных средств с государственным регулированием их целевого использования. Ограниченность финансовых ресурсов на создание (развитие) перспективных образцов РЛС обуславливает необходимость жесткого и обоснованного выбора ограниченного числа наиболее эффективных радиолокационных технологий для их развития и последующего внедрения в образцы ВВТ.

Таким образом, с одной стороны, возникает необходимость внедрения в разрабатываемые и перспективные образцы РЛС радиолокационных технологий, а с другой – ограниченные финансовые ресурсы, выделяемые на реализацию и внедрение данных

технологий в настоящее время, не позволяют обеспечить единовременное внедрение всего их множества. В этих условиях существенно возрастает роль программно-целевого планирования развития радиолокационных технологий.

Анализ системы планирования и управления созданием радиолокационных технологий для перспективных образцов вооружения и военной техники

Анализ существующей системы планирования и управления созданием радиолокационных технологий для перспективных образцов вооружения и военной техники, показал, что в ее составе можно выделить следующие методики:

формирования Программы развития базовых военных технологий;

оценки состояния организаций ОПК, участвующих в создании научно-технического задела для перспективного ВВТ.

выбора информационных технологий, применяемых видовыми научно-исследовательскими организациями МО РФ.

Методики формирования Программы развития базовых военных технологий предназначены для поддержания управленческих решений в процессе формирования Перечня базовых и критических военных технологий, определения потребных объемов ассигнований на 10-ю ПВ, установления приоритетности работ, предлагаемых для включения в состав комплексных целевых программ 10-й ПВ, определения рисков, связанных с выполнением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках Программы развития базовых военных технологий.

Для всестороннего анализа возможностей организаций ОПК при оценке конкурсных заявок на выполнение НИОКР по развитию радиолокационных военных технологий, а также для мониторинга их деятельности в ходе выполнения таких НИОКР используются методики оценки состояния организаций ОПК, участвующих в создании научно-технического задела для перспективного ВВТ.



При выборе информационных технологий, для повышения ТТХ РЛС видов ВС РФ применяются видовые методики, характеризующиеся набором частных подходов, учитывающих особенности радиолокационного обеспечения в различных видах войск.

Краткий анализ методического аппарата показывает, что с одной стороны, он практически полностью охватывает все основные этапы планирования и управления созданием радиолокационных технологий, а с другой, не учитывает необходимость дальнейшего внедрения результатов НИОКР по развитию радиолокационных технологий в перспективные образцы ВВТ на межвидовом уровне. Отсутствие такой взаимосвязи между НИОКР по развитию радиолокационных технологий и перспективными образцами ВВТ не позволяет существенно повысить качество управленческих решений в процессе программно-целевого планирования развития радиолокационных технологий.

Таким образом, существует необходимость совершенствования существующего научно-методического аппарата обоснования рационального перечня НИОКР по развитию радиолокационных технологий.

Совершенствование научно-методического аппарата обоснования рационального перечня НИОКР по развитию радиолокационных технологий

Приоритеты научно-технологического развития в Российской Федерации определяются Перечнем критических технологий Российской Федерации, утвержденным Президентом РФ 21 мая 2006 года. В состав этого перечня в качестве одной из важнейших позиций входят «базовые и критические военные технологии».

Более конкретно приоритеты научно-технологического развития в военной области определяются Перечнем базовых и критических военных технологий (одобрен решением ВПК при Правительстве РФ 6 ноября 2006 года).

Входящие в перечень базовые и критические военные технологии определяют направления создания необходимого для пере-

вооружения армии и флота научно-технического и технологического задела, поддержания технической оснащенности ВС РФ на уровне, достаточном для парирования любых угроз нового тысячелетия.

Анализ научно-технической политики ведущих зарубежных стран показывает, что приоритеты национального технологического развития определяются чаще всего в виде перечней критических технологий [3]. Регулярно разрабатываемые и утверждаемые на федеральном уровне перечни национальных критических технологий позволяют сконцентрировать финансовые и материальные ресурсы на наиболее приоритетных направлениях, обеспечивающих экономический рост государства и конкурентоспособность национальной продукции на мировом рынке. На основе указанных перечней формируются ведомственные перечни критических технологий.

Учитывая вышеизложенное, представляется целесообразным совершенствование научно-методического аппарата произвести с учетом отмеченных приоритетов научно-технологического развития и основных этапов существующей системы планирования и управления созданием радиолокационных технологий.

В предлагаемом научно-методическом аппарате разработана методика формирования перечня критических военных радиолокационных технологий и методика выбора рационального варианта НИОКР по созданию радиолокационных технологий.

Методика формирования перечня критических военных радиолокационных технологий

Формирование перечней критических технологий в военной и гражданской областях (и перечней для других объектов) требует применения специальных методов приоритизации. Теоретическую основу установления приоритетов составляют, как правило, методы, применяемые для обоснования многокритериальных решений:

- метод балльных оценок и ранжирования;
- метод теории полезности;
- метод анализа иерархических структур;



методы многокритериального упорядочения;

математическое программирование.

Практика разработки перечней критических технологий [4, 5] показывает, что наиболее эффективными являются методы многокритериальной коллективной экспертизы.

Наиболее известным среди методов многокритериальной коллективной экспертизы является метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Т. Саати. В общем случае данный подход включает следующие этапы:

подготовка исходных данных;

формирование групп экспертов по каждому научно-технологическому направлению, проведение анкетирования или опроса и формирование базы данных экспертных оценок;

построение матрицы непосредственных оценок критических технологий;

анализ полученных результатов.

Использование метода анализа иерархий Т. Саати для формирования перечня критических радиолокационных технологий предполагает выполнение следующих математических операции [6].

1. Определение коэффициентов относительной важности («веса») критериев путем их парных сравнений. Эта операция может производиться экспертным путем на основе анкетирования. Результаты сравнения образуют матрицу парных сравнений вида:

$$A_{m \times m} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где a_{jk} – результат сравнения j -го критерия с k -м,

m – количество критериев.

В общем случае задача оценки коэффициентов относительной важности сводится к определению λ_{\max} – максимального собственного значения матрицы A и соответствующего ему собственного вектора W [6, 7].

2. Определение индекса согласованности (ИС) суждений экспертов. Подразумевается, что чем ближе собственное значение матрицы парных сравнений λ_{\max} к размерности матрицы, тем результат более достоверен и суждения эксперта более последовательны [6, 7].

Индекс согласованности определяется в соответствии с выражением:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1},$$

где m – количество оцениваемых критериев.

Индекс согласованности генерированных случайным образом матриц с коэффициентами весомости от 1 до 9 есть случайный индекс (СИ).

Значения (СИ) рассчитываются специальным образом для матриц различной размерности и сводятся в специальную таблицу (таблица 1).

Таблица 1 – Значения случайных индексов для матриц различной размерности

Размерность матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СИ	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Отношение индекса согласованности к среднему значению случайных индексов представляет собой отношение соответствия (ОС) и по опытным данным считается приемлемым при значении $< 0,1$.

3. После определения коэффициентов относительной важности критериев эксперты путем анкетирования оценивают степень приоритета (критичность) радиолокационных технологий. По результатам этого анке-



тирования составляется соответствующая матрица оценок каждой технологии по каждому критерию (так называемая матрица влияния).

$$B_{n \times m} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{2k} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где b_{tk} – результат оценивания t -ой радиолокационной технологии ($t = \overline{1..n}$) по k -тому критерию ($k = \overline{1..m}$);

n – число рассматриваемых радиолокационных технологий;

m – число критериев.

Затем осуществляется обработка элементов полученной матрицы влияния. Для этого с элементами матрицы производят следующие действия:

а) рассчитывается весовая сумма элементов каждой строки

$$S_t = \sum_{k=1}^m b_{tk} \cdot w_k, \quad t = \overline{1..n}, \quad (3)$$

где w_t – коэффициент относительной важности соответствующего критерия;

б) путем нормирования определяются элементы вектора приоритетности радиолокационных технологий

$$W_t^* = \frac{S_t}{\sum_{t=1}^n S_t}, \quad t = \overline{1..n}, \quad (4)$$

где W_t^* – нормированный вектор приоритетности радиолокационных технологий.

При обработке данных анкетирования может возникнуть ситуация, когда один или несколько экспертов затрудняются оценить радиолокационную технологию по одному из критериев. Тогда в качестве оценки данной технологии для этого эксперта предлагается использовать значение среднего арифметического оценок всех экспертов, осуществивших оценивание

$$X = \frac{\sum_{v=1}^n O_v}{L}, \quad v = \overline{1..n}, \quad (5)$$

где X – оценка, выставляемая эксперту, который затрудняется оценить радиолокационную технологию по определенному критерию;

O_v – оценка данной технологии по определенному критерию;

L – количество экспертов оценивших технологию по данному критерию.

Выполнение указанных математических действий обеспечивает возможность ранжирования совокупности НИОКР (определение их важности) по созданию радиолокационных технологий.

В общем случае ранжированный перечень НИОКР может служить основой для целевого планирования развития радиолокационных технологий. Предполагается, что к разработке в плановый период выбирают N первых НИОКР из ранжированного перечня в рамках планируемого уровня финансирования. Такой подход не обеспечивает рационального развития радиолокационных средств как систем включающих составные элементы. Так, например, может возникнуть ситуация когда из десяти отобранных к разработке НИОКР все направлены на развитие антенных систем. Тогда к концу планового периода антенные системы будут отвечать всем требованиям перспективного вооружения, но в целом РЛС, будет малоэффективной, так как остальные системы (приемопередающий тракт, система отображения, система питания и пр.) не смогут сопрягаться с такими антенными системами ввиду своей «технологической отсталости». Как следствие будут использоваться либо старые антенные системы, либо в срочном порядке совершенствоваться остальные системы РЛС, что в условиях ограниченного финансирования вряд ли приведет к положительным результатам.

Поэтому возникает необходимость разработки методического аппарата рационального выбора НИОКР по развитию радиолокационных технологий, обеспечивающего развитие РЛС, как сложной технической системы.



Методика выбора рационального варианта НИОКР по созданию радиолокационных технологий

При формировании рационального варианта НИОКР по созданию радиолокационных технологий предполагается использовать идеологию функционально-технологических особенностей образцов ВВТ – представление их в виде «типовых образцов» и структурных функционально-технологических схем.

Сущность этой идеологии состоит в следующем.

Любой образец РЛС может быть описан «типовым образцом» и его структурной функционально-технологической схемой (СФТС), а возможные изменения типовой СФТС будут характеризовать дополнительные функциональные возможности и особенности конструктивного исполнения.

Разработка СФТС образцов ВВТ соответствует одному из главных принципов создания конкурентоспособной техники – принципу декомпозиции и предусмотрена рядом нормативно-технических документов [8]. Опыт проведения такой работы в отечественной промышленности имеется: в рамках каждой ОКР разрабатывается схема деления изделия на составные части в соответствии с ГОСТ 2.711.

Под типовым образцом РЛС будем понимать искусственно сформированное изделие, обладающее максимальной функциональной и структурной общностью с изделиями определенной группы (O_1, O_2, \dots, O_n).

В обобщенном виде пример формирования межвидового варианта СФТС радиолокационной станции представлен на рисунке 2.

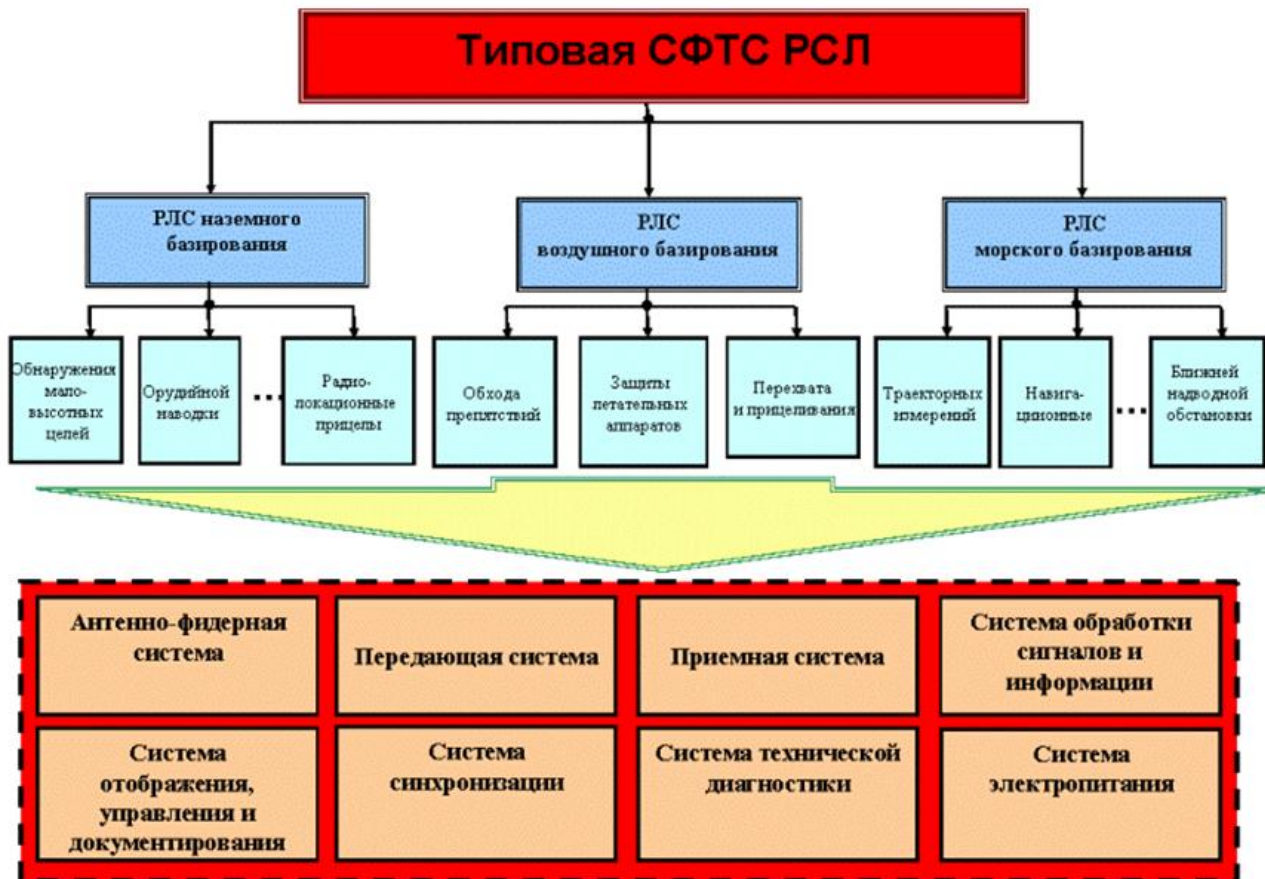


Рисунок 2 – Пример формирования межвидового варианта СФТС радиолокационной станции

Сформированная СФТС является основой для формирования рационального варианта НИОКР по созданию радиолокационных

технологий. Подразумевается, что при формировании перечня НИОКР на плановый период необходимо учитывать не только



важность радиолокационных технологий, определяемых сформированным перечнем, но и количество элементов СФТС в которых может быть реализован их результат.

Для решения данной задачи предлагается использовать методы теории нечетких множеств, которые позволяют получать доста-

точно обоснованные оценки в условиях значительной неопределенности исходных данных и большого набора оцениваемых альтернатив (в данном случае НИОКР).

В этом случае значения критериев для сформированной типовой СФТС сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные и нормативные значения критериев

Критерий	Значение критерия				Нормативное значение
	НИОКР ₁ (G ₁)	НИОКР ₂ (G ₂)	НИОКР _L (G _L)	
Важность НИР (S ₁)	0,9	0,3	0,5	0,1-1
Количество элементов СФТС в которых предполагается реализация НИОКР (S ₂)	1	3	5	1-10

Рассмотрим решение задачи методом максиминной свертки.

Обработка полученной исходной информации с применением математического аппарата теории нечетких множеств проведем в три этапа [7].

На первом этапе производится построение функций принадлежности соответствующих максимальным (наилучшим) значениям критериев.

На втором этапе определяются конкретные значения функции принадлежности по критериям $\{S_i\}, i = \overline{1,2}$, соответствующим рассматриваемым альтернативам (НИОКР).

На втором этапе определяются конкретные значения функции принадлежности по критериям $\{S_i\}, i = \overline{1,2}$, соответствующим рассматриваемым альтернативам (НИОКР).

Нечеткие множества для двух рассматриваемых критериев, включающие L рассматриваемых НИОКР, имеют вид:

$$S_1 = \left\{ \begin{array}{l} \mu_{s_1}(G_1)/G_1, \\ \mu_{s_1}(G_2)/G_2, \dots, \\ \mu_{s_1}(G_L)/G_L \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$S_2 = \left\{ \mu_{s_2}(G_1)/G_1, \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu_{s_2}(G_2)/G_2, \\ \mu_{s_2}(G_L)/G_L \end{array} \right\}.$$

При выполнении третьего этапа производится свертка имеющейся информации в целях определения лучшей НИОКР. Множество оптимальных НИОКР определяется путем пересечения нечетких множеств, содержащих их оценки по критериям выбора.

Если критерии, по которым осуществляется выбор вариантов, имеют одинаковую важность для ЛПР, то правило выбора лучшего набора НИОКР можно представить как пересечение нечетких множеств и имеет вид:

$$D = S_1 \cap S_2. \quad (7)$$

Оптимальным считается совокупность НИОКР с максимальным значением функции принадлежности к множеству $\{D\}$.

Операция пересечения нечетких множеств соответствует выбору минимального значения для l -й НИОКР:

$$\mu_D(G_l) = \min_{i=1 \dots N} \mu_{S_i}(G_l). \quad (8)$$

Для рассматриваемой задачи множество оптимальных НИОКР будет формироваться следующим образом:



$$D = \min \left\{ \begin{array}{l} \mu_{S_1}(G_1), \\ \mu_{S_2}(G_1), \end{array} \right\}; \quad (9)$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} \mu_{S_1}(G_2), \\ \mu_{S_2}(G_2), \end{array} \right\}.$$

Лучшей считается множество НИОКР G_L^* , имеющее наибольшее значение функции принадлежности:

$$\mu_D(G_L^*) = \max \mu_D(G_L). \quad (10)$$

В случае учета различных весовых коэффициентов критериев множество оптимальных НИОКР определяется путем пересечения нечетких множеств следующим образом [7]:

$$D = S_1^{\beta_1} \cap S_2^{\beta_2}. \quad (11)$$

Множество оптимальных НИОКР с учетом полученных весовых критериев будет иметь вид:

$$D = \left\{ \min \left\{ \begin{array}{l} [\mu_{S_1}(G_1)]^{\beta_1}, \\ [\mu_{S_2}(G_1)]^{\beta_2}, \dots, \\ [\mu_{S_N}(G_1)]^{\beta_N} \end{array} \right\} \right.$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} [\mu_{S_1}(G_2)]^{\beta_1}, \\ [\mu_{S_2}(G_2)]^{\beta_2}, \dots, \\ [\mu_{S_N}(G_2)]^{\beta_N} \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} [\mu_{S_1}(G_L)]^{\beta_1}, \\ [\mu_{S_2}(G_L)]^{\beta_2}, \dots, \\ [\mu_{S_N}(G_L)]^{\beta_N} \end{array} \right\} \left. \right\}.$$

Оптимальный набор НИОКР в этом случае также определяется на основании правила (3.10). При этом к разработке в плановый период выбираются N первых НИОКР

из полученного вектора приоритетов в рамках отведенного уровня финансирования.

Таким образом, в статье показана необходимость совершенствования методического аппарата определения рационального варианта развития радиолокационных технологий при создании перспективных образцов вооружения и военной техники. Выявлены основные недостатки существующей системы планирования и управления созданием радиолокационных технологий для перспективных образцов вооружения и военной техники. Разработан методический аппарат определения рационального варианта развития радиолокационных технологий на основе учета важности радиолокационных технологий и возможности их применения в элементах структурной функционально-технологической схемы радиолокационной станции.

Список использованных источников

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988.
2. Романенко В.Н. Принципы общей теории технологий. – СПб.: Издательство СПб госуд. архит.-строит. университета, 1994.
3. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. – М.: Издательский дом «Граница», 2007.
4. Ивлев А.А., Ильин Е.М., Николаев А.И., Полубехин А.И., Слукин Г.П., Федоров И.Б. Методика определения перечня критических радиолокационных технологий. V научно-техническая конференция «Радиооптические технологии в приборостроении», Туапсе, 2008.
5. Т. Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993.
6. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник. – 2-е изд., доп. и перераб. М.: Финансы и статистика, 2004.
7. ГОСТ 2.711. Схема деления изделия на составные части, ГОСТ РВ 0015-213. Военная техника. Руководящие указания по конструированию.

