Научная статья
УДК 623

Методика определения рационального варианта развития совокупности подсистем образцов радиоэлектронного вооружения

Дмитрий Михайлович Семерунин

Аннотация. В статье приведен математический аппарат поиска рационального варианта развития образцов радиоэлектронного вооружения как совокупности подсистем. Представлена постановка задачи определения рационального варианта развития, разработан показатель интегральной оценки вклада образцов радиоэлектронного вооружения в решение возложенных на них задач, выбран метод решения задачи и разработан соответствующий алгоритм.

Ключевые слова: вариант развития; показатель динамики развития; метод максимального элемента; алгоритм

Для цитирования: Семерунин Д.М. Методика определения рационального варианта развития совокупности подсистем образцов радиоэлектронного вооружения // Вооружение и экономика. 2025. №1(71). С. 83-95.

Original article

Methodology for the Rational Development Option Determination for Electronic Weapon Subsystem Samples Set

Dmitrii M. Semerunin

Abstract. The article presents a mathematical apparatus of a rational development option search for electronic weapons as a set of subsystems. The problem of a rational development option determination is presented, an integral assessment indicator of the contribution of electronic weapons samples to the task solution assigned to them is developed, a method for the problem solution is selected and an appropriate algorithm is developed.

Keywords: development option; indicator of development dynamics; method of maximum element; algorithm

For citation: Semerunin D.M. Methodology for the Rational Development Option Determination for Electronic Weapon Subsystem Samples Set. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025;71(1): 83-95. (In Russ.).

Совокупность подсистем образцов радиоэлектронного вооружения (РЭВ) характеризуется широким спектром решаемых задач в области всестороннего обеспечения действий войск (сил) и большой номенклатурой составляющих ее высокотехнологичных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ).

Очевидная межвидовость применения образцов радиоэлектронного вооружения определяет привлечение для обоснования программ и планов их развития широкого круга специалистов органов военного управления (ОВУ) и научно-исследовательских организаций Минобороны России (НИО МО), использования для этого всего доступного организационного ресурса и научно-методических разработок. Однако вопрос обоснования сбалансированного сочетания направлений развития образцов РЭВ до настоящего времени детально проработан не был. Одна из основных трудностей, возникающих при технико-экономическом обосновании долгосрочного варианта развития образцов РЭВ, связана с необходимостью одновременного рассмотрения всей совокупности подсистем образцов РЭВ. При этом каждой подсистеме соответствуют свои функциональные задачи, способы функционирования, тактико-технические характеристики, показатели и критерии эффективности несводимые с друг с другом.

Существующий научно-методический аппарат обоснования вариантов развития отдельных подсистем образцов РЭВ на видовом уровне характеризуется тем, что существует совокупность частных (видовых) методик [1-3], используемых органами военного управления и научно-исследовательскими организациями при решении задач обоснования программных мероприятий в рамках отдельных классов РЭВ, которые, исходя из применяемых в них методов, условно можно разделить на три группы: экспертные, расчетно-аналитические и имитационные.

© Семерунин Д.М., 2025

Существующие методики обоснования вариантов развития отдельных подсистем РЭВ на видовом уровне характеризуются, с одной стороны, глубокой степенью проработанности и учетом специфических параметров для рассматриваемых классов ВВСТ, а с другой возможностью их эффективного использования только при относительно однородном и ограниченном множестве образцов ВВСТ в пределах одного класса.

В видовых методиках используются разнотипные показатели и критерии, что не позволяет комплексировать данные методики для обоснования предложения по комплексному рациональному развитию совокупности подсистем образцов РЭВ в рассматриваемый программный период.

То есть, несмотря на наличие широкого спектра видовых методик, их использование на межвидовом уровне исследований не позволяет в полной мере решать задачу обоснования рационального варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ.

В настоящее время развитие образцов РЭВ осуществляется в условиях ограниченности финансовых средств, выделяемых на программные мероприятия их развития, что делает невозможным реализацию потребного варианта (программы) развития данного класса вооружений. Исходя из этого возникает задача поиска наилучшего варианта развития, удовлетворяющего условию не превышения выделяемого объема финансовых средств. Решение данной задачи ввиду широкой номенклатуры образцов РЭВ сопряжено с необходимостью рассмотрения большого количества возможных альтернативных вариантов развития, прямой перебор которых в целях выбора из них рационального связан со значительными трудностями, в том числе с применением вычислительной техники. В настоящее время не разработано методов, позволяющих оперативно и с достаточной точностью решить указанную задачу. В таких условиях вопрос разработки процедуры (метода) поиска оптимальной программы (рационального варианта) развития совокупности подсистем образцов РЭВ имеет высокую актуальность.

Рассматриваемая задача определения рационального варианта развития образцов РЭВ, удовлетворяющего ограничению по выделяемым ресурсам, относится к классу задач теории оптимального управления. Постановка задачи должна включать описание управляемой системы, условия оптимальности, управляющего вектора и его функциональной связи с фазовым вектором (вектором состояния системы) и ограничений вдоль траектории [4]. Ниже последовательно рассмотрим каждый из указанных элементов задачи.

Прежде всего необходимо определить, что понимается под вариантом развития образцов РЭВ $U_{\text{РЭВ}}$. Как правило, под ним понимается совокупность следующих мероприятий развития: научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), серийных поставок (СП) и ремонта образцов РЭВ, запланированных к проведению в рамках программного периода T, реализация которых направлена на обеспечение решения военно-технических задач, возлагаемых на группировку образцов РЭВ:

$$U_{\text{РЭВ}}(t) = \left\{u_j^{\text{НИОКР}}(t), u_j^{\text{СП}}(t), u_j^{\text{Рем}}(t)\right\},\ j = \overline{1,J},\ t = \overline{1,T}, \tag{1}$$

где: $u_j^{\text{НИОКР}}(t), u_j^{\text{СП}}(t), u_j^{\text{Рем}}(t)$ – число поставляемых в ВС РФ образцов РЭВ j-го типа в рамках НИОКР, СП и ремонта в t-м году программного периода, соответственно;
J – число типов образцов РЭВ, мероприятия развития которых запланированы для проведения в рамках программного периода.

Реализация варианта развития образцов РЭВ требует привлечения финансовых ресурсов, объем которых по годам программного периода $t = \overline{1,T}$ может быть найден исходя из выражения:

$$C(t) = \sum_{j=1}^{J}\left(C_j^{\text{НИОКР}}(t) + \bar{c}_j^{\text{СП}}(t)u_j^{\text{СП}}(t) + \bar{c}_j^{\text{Рем}}(t)u_j^{\text{Рем}}(t)\right) + C^{\text{ГП}}(t), \tag{2}$$

где: $C_j^{\text{НИОКР}}(t)$ – стоимость проведения НИОКР по созданию образца j-го типа в t-м году программного периода;

$\bar{c}_j^{\text{СП}}(t)$, $\bar{c}_j^{\text{Рем}}$ – стоимость серийного производства и ремонта единичного образца РЭВ j-го типа в t-м году программного периода;
$C^{\text{ГП}}(t)$ – общая стоимость проведения мероприятий развития подсистем образцов РЭВ в части групповых позиций в t-м году программного периода, в том числе по которым невозможно определить количество закупаемых или ремонтируемых образцов РЭВ. Наличие групповых позиций в предложениях отдельных ДОВУ по развитию закрепленной за ними номенклатуры ВВСТ обусловлено требованиями руководящих документов по ограничению доступа к информации о перспективных возможностях образцов ВВСТ.

Непосредственным результатом проведения мероприятий варианта развития $U_{\text{РЭВ}}$ является сформированная группировка образцов РЭВ, учитывающая результаты оценки их наличия в войсках, текущем уровне их исправности и прогноза динамики ее изменения по годам программного периода [5]. Количественный состав образцов данной группировки, способных решать возложенные на них задачи может быть рассчитан по формуле:

$$n_j(t) = n_{0j}(t) + \sum_{\tau=\hat{\tau}_j(t)}^{t} \left(u_j^{\text{НИОКР}}(\tau) + u_j^{\text{СП}}(\tau)\right), \tag{3}$$

где: $n_{0j}(t)$ – число образцов РЭВ, находящихся в составе группировки ВС РФ в случае отсутствия программных мероприятий их развития (военно-технические исходные данные);
$\hat{\tau}_j(t)$ – точка начала учета по времени поставляемых образцов РЭВ j-го типа, рассчитываемая по формуле:

$$\hat{\tau}_j(t) = \begin{cases} t - R_j^{\text{ут}} + 1, & \text{если} \quad t > R_j^{\text{ут}}, \\ 1, & \text{если} \quad t \le R_j^{\text{ут}}, \end{cases} \tag{4}$$

где: $R_j^{\text{ут}}$ – срок службы (эксплуатации) j-го образца РЭВ до списания (утилизации).

Поскольку непосредственно для решения возложенных задач могут быть использованы только исправные образцы РЭВ, то отдельно необходимо определить выражение для расчета их количества в составе группировки:

$$n_j^{\text{испр}}(t) = n_{0j}^{\text{испр}}(t) + \sum_{\tau=\hat{\tau}_j(t)}^{t} \left(u_j^{\text{НИОКР}}(\tau) + u_j^{\text{СП}}(\tau) + u_j^{\text{Рем}}(\tau)\right), \tag{5}$$

где: $n_{0j}^{\text{испр}}(t)$ – число исправных образцов РЭВ, находящихся в составе группировки ВС РФ в случае отсутствия программных мероприятий их развития (военно-технические исходные данные);
$\hat{\tau}_j(t)$ – точка начала учета по времени поставляемых образцов РЭВ j-го типа, рассчитываемая по формуле:

$$\hat{\tau}_j(t) = \begin{cases} t - R_j^{\text{Рем}} + 1 & \text{если} \quad t > R_j^{\text{Рем}}, \\ 1 & \text{если} \quad t \le R_j^{\text{Рем}}, \end{cases} \tag{6}$$

где: $R_j^{\text{Рем}}$ – срок службы (эксплуатации) j-го образца РЭВ до его перехода в состояние подлежащего ремонту.

Как было указано выше реализация варианта развития осуществляется в интересах обеспечения решения военно-технических задач, возлагаемых на группировку образцов РЭВ. При этом в зависимости от состава группировки может существенно изменяться уровень решения задач. Если предположить, что основные показатели, характеризующие совокупные возможности образцов РЭВ, пропорциональны числу исправных образцов, а требования, предъявляемые к ним, слабо изменяются в пределах программного периода, то в первом приближении уровень решения отдельной военно-технической задачи может оцениваться по формуле:

$$w_i(t) = \sum_{j=1}^{J^*} \gamma_{ij} n_j^{\text{испр}}(t), \tag{7}$$

где: γ_{ij} – коэффициент вклада единичного образца РЭВ j-го типа в решение i-й задачи;
J^* – общее количество типов образцов РЭВ ($J \subset J^*$);
J – общее количество типов образцов РЭВ, относительно которых в программном периоде могут быть проведены мероприятия в рамках НИОКР, СП и ремонта.

Таким образом, уравнения (1)-(7) описывают связь варианта развития с потребными для его реализации ассигнованиями $C^{U_{\text{РЭВ}}}$ и ожидаемыми результатами в форме формируемой группировки образцов РЭВ $n_j(t)$, $n_j^{\text{испр}}(t)$ и соответствующих ей уровней решения военно-технических задач $w_i^{U_{\text{РЭВ}}}(t)$.

Далее следует определить какой вариант развития образцов РЭВ следует считать рациональным. Относительно совокупности подсистем образцов РЭВ особый интерес представляет собой условие достижения некоторого наибольшего интегрального эффекта (полезности) от функционирования входящих в них технических средств, реализуемого в течение заданного отрезка времени. Установление формы функциональной связи между интегральным эффектом от функционирования образцов РЭВ в целом и уровнями решения частных задач, возлагаемых на них, сопряжено с большими трудностями. Многообразие и разнородность задач, решаемых образцами РЭВ, масштабность и многоуровневость (от тактического до стратегического) потребителей, зависимость от внешних условий функционирования, функционирование во все периоды военно-политической обстановки (как в военное, так и в мирное время) - все это делает задачу оценки интегрального эффекта от применения образцов РЭВ в интересах решения возложенных на них задач в целом трудновыполнимой.

Исходя из этого, в качестве показателя интегрального эффекта от применения образцов РЭВ предлагается использовать показатель динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ, связанный с уровнями решения частных военно-технических задач по формуле:

$$\Omega_{\text{РЭВ}} = 1 - \frac{1}{T^*}\sum_{t=1}^{T^*}\sum_{i=1}^{I}\alpha_i\left(1 - \frac{w_i(t)}{w_i^*(t)}\right)^2, \quad (8)$$

где: α_i – весовой коэффициент важности i-й военно-технической задачи образцов РЭВ ($\sum_{i=1}^{I}\alpha_i = 1$);
I – число военно-технических задач, решение которых возложено на образцы РЭВ;
T^* – временная глубина оценивания эффекта от проведения мероприятий развития образцов РЭВ в программном периоде;
$w_i(t)$ – показатель возможностей образцов РЭВ по решению i-й задачи (уровень решения i-й задачи) в t-м году;
$w_i^*(t)$ – эталонное значение показателя уровня решения i-й задачи в t-м году.

Данный показатель $\Omega_{\text{РЭВ}}$, представляющий собой интегральную оценку вклада образцов РЭВ в решение возложенных на них задач, ориентирован на достижение некоторого заранее определенного эталонного значения уровня решения задач с учетом значимости (приоритетности решения) отдельной задачи, т.е. позволяет приблизить фактический результат к желаемому, заранее определенному (аналог метода «идеальной точки» [6-8] решения многокритериальных задач).

Использование показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ (8) требует наличия эталонных функций уровней решения задач $w_i^*(t)$, а также определенности относительно глубины T^* оценивания эффекта от проведения мероприятий развития образцов РЭВ.

В рамках существующей методологии обоснования развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации выделяется этап разработки так называемых опорных вариантов развития системы вооружения, среди которых выделяют потребный вариант, разрабатываемый в соответствии с предложениями соответствующих довольствующих органов военного управления [9]. Данный вариант соответствует программе наискорейшего развития, лимитированной исключительно производственными возможностями

промышленности и штатной потребностью в образцах ВВТ подразделений ВС РФ. Поскольку потребный вариант является предельным реализуемым, то соответствующая данному варианту динамика уровней решения военно-технических задач образцами РЭВ может быть принята в качестве «эталонной» $w_i^*(t)$.

Что касается глубины оценивания эффекта, то единичный образец РЭВ, поступающий в ВС в рамках мероприятий развития, дает эффект в повышение уровня решения задач в пределах срока своей эксплуатации до перехода в состояние подлежащего ремонту либо списанию (утилизации), в том числе за пределами программного периода T. Исходя из этого, величина T^* должна соответствовать моменту времени, к которому перейдет в состояние подлежащего ремонту или списанию вся совокупность образцов РЭВ, поставленных и отремонтированных в рамках программного периода, что соответствует выражению:

$$T^* = T + \underset{j=\overline{1,J}}{max}\left\{min\left\{R_j^{\text{ут}}, R_j^{\text{Рем}}\right\}\right\}. \tag{9}$$

Кроме того, отметим, что в целях достижения наискорейшего развития и внедрения перспективных образцов РЭВ изменение сроков выполнения НИОКР (и соответственно технологического цикла их выполнения и загруженности предприятий промышленности) нежелательно. В таком случае необходимо зафиксировать сроки проведения НИОКР в соответствии с «идеальной» программой развития («потребным» вариантом развития). Это, в свою очередь, фиксирует сроки ввода в эксплуатацию образцов РЭВ.

С учетом вышеизложенного, задача определения оптимальной программы развития образцов РЭВ сводится к определению рациональной программы их серийных закупок и ремонта при фиксированных программе проведения НИОКР и мероприятиях в части групповых позиций, по которым отсутствует необходимая информация для проведения расчетов.

Критерием выбора рационального варианта развития образцов РЭВ в таком случае может являться достижение максимального значения показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ $\Omega_{\text{РЭВ}}$ при условии выполнения системы ограничений по суммарным выделенным ассигнованиям, исправности и обеспеченности подразделений ВС РФ образцами РЭВ:

$$U_{\text{РЭВ}}^{\text{рац}} = \underset{U_{\text{РЭВ}}(t)}{argmax}\left(1 - \frac{1}{T^*}\sum_{t=1}^{T^*}\sum_{i=1}^{I}\alpha_i\left(1 - \frac{w_i^{U_{\text{РЭВ}}}(t)}{w_i^*(t)}\right)^2\right), \tag{10}$$

$$\begin{cases} C^{U_{\text{РЭВ}}} \le C_{\text{выд}}, \\ u_j^{\text{СП}}(t) \le g_j^{\text{СП}}, \\ u_j^{\text{Рем}}(t) \le g_j^{\text{Рем}}, \\ u_j^{\text{Рем}}(t) \le n_j(t) - n_j^{\text{испр}}(t), \\ M_{\text{к}}(t) \ge M^{\text{треб}}, \\ O^{\text{треб}} \le O_{\text{к}}(t) \le 1, \end{cases} \tag{11}$$

$$j = \overline{1,J^*},\ t = \overline{1,T},\ k = \overline{1,K},$$

где: $C_{\text{выд}}$ – объем ассигнований, выделяемых на поддержание и развитие совокупности подсистем образцов РЭВ на весь программный период T;

$g_j^{\text{СП}}$, $g_j^{\text{Рем}}$ – максимальные возможности промышленности по серийному производству и ремонту образцов РЭВ j-го типа, соответственно;

K – число классов[1] образцов РЭВ, в рамках которых осуществляется расчет показателей обеспеченности и доли исправных образцов РЭВ;

$M^{\text{треб}}$ – требуемое значение показателя доли исправных образцов РЭВ;

[1] В данном случае различные классы образцов РЭВ, составляющие одну подсистему РЭВ в пределах программного периода, решают преимущественно одну совокупность задач и представляют собой образцы РЭВ различных поколений.

$O^{\text{треб}}$ – требуемое значение показателя обеспеченности подразделений ВС РФ образцами РЭВ;
$M_{\text{к}}(t)$ – доля исправных образцов РЭВ k-го класса в t-м году программного периода, рассчитываемая по формуле:

$$M_{\text{к}}(t) = \frac{n_{0k}^{\text{испр}}(t)+\sum_{t=1}^{t}\left(u_k^{\text{НИОКР}}(t)+u_k^{\text{СП}}(t)+u_k^{\text{Рем}}(t)\right)}{n_k^{\text{потр}}(t)}, \quad (12)$$

где: $n_k^{\text{потр}}(t)$ – штатная потребность ВС РФ в образцах РЭВ k-го класса;
$O_{\text{к}}(t)$ – показатель обеспеченности подразделений ВС РФ образцами РЭВ k-го класса в t-м году программного периода, рассчитываемый по формуле:

$$O_{\text{к}}(t) = \frac{n_{0k}(t)+\sum_{t=1}^{t}\left(u_k^{\text{НИОКР}}(t)+u_k^{\text{СП}}(t)\right)}{n_k^{\text{потр}}(t)}. \quad (13)$$

Исходными данными при этом выступают:
- номенклатура образцов РЭВ, составляющих классы подсистем РЭВ, их срок службы (эксплуатации) $R_j^{\text{Рем}}$ до перехода в состояние подлежащего ремонту, ТТХ и стоимости серийного производства и ремонта единичных образцов РЭВ j-го типа $\bar{c}_j^{\text{СП}}(t)$, $\bar{c}_j^{\text{Рем}}$;
- значения коэффициентов приоритетности α_i военно-технических задач, возложенных на РЭВ;
- значения коэффициентов вклада γ_{ij} единичного образца РЭВ j-го типа в решение i-й военно-технической задачи;
- штатная потребность $n_k^{\text{потр}}(t)$ ВС РФ в образцах РЭВ k-го класса,
- объем финансовых средств $C_{\text{выд}}$, выделяемых на развитие РЭВ;
- число образцов РЭВ $n_{0j}(t)$, находящихся в составе группировки ВС РФ в случае отсутствия программных мероприятий их развития (военно-технические исходные данные);
- число исправных образцов РЭВ $n_{0j}^{\text{испр}}(t)$, находящихся в составе группировки ВС РФ в случае отсутствия программных мероприятий их развития (военно-технические исходные данные);
- перечень НИОКР по созданию образцов РЭВ, запланированных в программном периоде, сроки их проведения и объем финансовых средств $C_j^{\text{НИОКР}}$;
- перечень групповых позиций, направленных на развитие подсистем РЭВ, сроки их проведения и объем финансовых средств $C^{\text{ГП}}$;
- максимальные производственные возможности предприятий промышленности по серийным закупкам $g_j^{\text{СП}}$ и ремонту $g_j^{\text{Рем}}$ образцов РЭВ;
- выделяемый объем финансовых средств $C_{\text{выд}}$ в рамках рассматриваемого программного периода T на развитие совокупности подсистем образцов РЭВ;
- потребный вариант развития образцов РЭВ $U_{\text{РЭВ}}^{*} = \{u_j^{*\text{НИОКР}}(t), u_j^{*\text{СП}}(t), u_j^{*\text{Рем}}(t)\}$, $j = \overline{1,J}$, $t = \overline{1,T}$, и соответствующее ему распределение ассигнований по годам программного периода и различным мероприятиям развития отдельных образцов РЭВ $\text{C}_{\text{РЭВ}}^{*} = \{\text{c}_j^{*\text{НИОКР}}(t), \text{c}_j^{*\text{СП}}(t), \text{c}_j^{*\text{Рем}}(t)\}$, а также динамика уровней решения военно-технических задач $w_i^{*}(t)$;
- величины шага сокращения числа закупаемых $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ и ремонтируемых $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ образцов РЭВ k-го класса j-го типа на q-м шаге корректировки потребного варианта развития;
- иерархические функциональные связи j-х однотипных образцов РЭВ в соответствующих k-х классах, решающие i-е задачи, которые необходимо учитывать при сокращении закупаемых образцов РЭВ и определении дополнительно ремонтируемых образцов РЭВ, способных решать соответствующие i-е задачи.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод максимального элемента (МЭ) [5]. В [6] показано, что применительно к выпуклым вверх функциям, составляющим аддитивную целевую функцию (что имеет место в нашем случае), решение задачи минимизации степени отклонения рационального варианта от потребного на каждом шаге процесса расчета методом МЭ будет оптимально по отношению к текущему распределенному объему финансовых средств $C_{\text{расп}}$. Иными словами, процесс расчета по методу МЭ

обеспечивает последовательность решений, оптимальных относительно распределенного объема ассигнований.

Поскольку сформированная постановка задачи (10)-(11) предполагает использование потребного варианта в качестве опорного, то предлагается осуществлять поиск рационального варианта с использованием метода МЭ путем последовательного сокращения (трансформации) мероприятий потребного варианта до шага, на котором обеспечивается выполнение всех ограничений (11). Т.е. каждый последующий шаг будет приводить к уменьшению значения целевой функции (10). В соответствии с методом МЭ выбор на каждом q-м шаге направления корректировки варианта развития (изменения числа серийно поставляемых и/или ремонтируемых образцов) должен обеспечивать наименьшее снижение значения целевой функции, приходящееся на единицу высвобождаемого на данном шаге объема денежных средств.

Согласно методу МЭ вектор градиента, показывающий направление изменения состава мероприятий потребного варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ (его деформации) в сторону получения искомого рационального варианта, определяется следующими проекциями этого вектора:

$$v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t) = \frac{\Omega^{(q)} - \Omega\left(u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{СП}}\right)}{\left(\overline{c}_j^{\text{СП}}(t) + \overline{c}_j^{\text{Рем}}\left(t_{R_j^{\text{рем}}}\right)\right)\Delta u_{kj}^{\text{СП}}}, \tag{14}$$

$$v_{kj}^{(q)\text{СП+Рем}}(t) = \frac{\Omega^{(q)} - \Omega\left(u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{СП}} + \Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)\right)}{\left(\overline{c}_j^{\text{СП}}(t) + \overline{c}_j^{\text{Рем}}\left(t + R_j^{\text{рем}} - 1\right)\right)\Delta u_{kj}^{\text{СП}} - \overline{c}_{j^*}^{\text{Рем}}(t)\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)}, \tag{15}$$

$$v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t) = \frac{\Omega^{(q)} - \Omega\left(u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{Рем}}\right)}{\overline{c}_j^{\text{Рем}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}}, \tag{16}$$

где: $v^{(q)}(t)$, $v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t)$, $v_{kj}^{(q)\text{СП+Рем}}(t)$, $v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)$ – значения отношения изменения значения показателя $\Omega_{\text{РЭВ}}$ к изменению распределенных ассигнований при изменении числа серийно поставляемых и/или ремонтируемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода на каждом q-м шаге направления корректировки варианта развития совокупности подсистем РЭВ;

$\Omega^{(q)}$ – показатель динамики развития образцов РЭВ на q-м шаге корректировки варианта развития;

$\Omega\left(u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{СП}}\right)$, $\Omega\left(u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{Рем}}\right)$ – показатели динамики развития образцов РЭВ, получаемые при сокращении мероприятий в части СП (ремонта) образца РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода на величину $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ ($\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$) на q-м шаге корректировки варианта развития;

$\overline{c}_j^{\text{Рем}}\left(t + R_j^{\text{рем}} - 1\right)$ – стоимость ремонта образца РЭВ j-го типа в тот год программного периода, в котором требуется его ремонт исходя из срока его эксплуатации с момента закупки;

$\overline{c}_{j^*}^{\text{Рем}}(t)\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)$ – стоимость ремонта необходимого количества образцов РЭВ j-го типа k-го класса $\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)$, способных решать соответствующие i-е задачи вместо сокращения числа закупаемых $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ (определяется с учетом иерархических связей, позволяющих последовательно рассматривать возможность ремонта других образцов РЭВ j-го типа вместо образцов, от которых осуществляется отказ от серийных закупок);

$\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ – заданная величина шага сокращения числа закупаемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа;

$\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$ – заданная величина шага сокращения числа ремонтируемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа.

При этом величина шага $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ и $\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$ задается для каждого образца РЭВ исходя из компромиссного значения между объемом вычислений и точностью получаемого результата.

В этом случае обеспечивается минимальное изменение целевой функции на каждой итерации поискового процесса, т.е.:

$$v^{(q)}(t) = \min_{j=\overline{1,J_k}, t=\overline{1,T}} \left\{ v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t), v_{kj}^{(q)\text{СП+Рем}}(t), v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t) \right\}. \quad (17)$$

Отметим, что в соответствии с (14)-(17) на каждом q-м шаге корректировки варианта развития (изменения числа серийно поставляемых и/или ремонтируемых образцов) учитывается возможность замены серийных поставок современных образцов $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ на ремонт существующих образцов РЭВ (на основе связи мероприятий закупки и ремонта образцов РЭВ в пределах соответствующих классов и типов, решающих преимущественно одну совокупность задач). Т.е. рассматривается возможность увеличения объема ремонта существующих образцов РЭВ в том году и в пределах тех высвобожденных ассигнований, в котором мы отказались от закупки образцов РЭВ k-го класса j-го типа. В частности:

1. При отказе в t-м году от закупки $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ образцов РЭВ k-го класса j-го типа необходимо последовательно выполнить следующие операции:

а) Проверить выполнение ограничения по обеспеченности:

$$\Delta u_{kj}^{\text{СП}} \le \sum_{j \in J_k^*} n_j^{(q)}(t) - O^{\text{треб}} \sum_{j \in J_k^*} n_{kj}^{\text{штат}}(t), \quad (18)$$

где: $n_{kj}^{\text{штат}}(t)$ – требуемый по штату количественный состав образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода.

б) Определить необходимое количество РЭВ, которое возможно дополнительно отремонтировать взамен сокращенного числа закупаемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода по формуле:

$$\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj}(t) = \min \left\{ g_j^{\text{Рем}} - u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t), \frac{\bar{c}_j^{\text{СП}}}{\bar{c}_j^{\text{Рем}}} \Delta u_{kj}^{\text{СП}}, n_j^{(q)}(t) - n_j^{(q)\text{испр}}(t) \right\}, \quad (19)$$

где: $\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj}(t)$ – число образцов РЭВ j-го типа k-го класса, которое может быть дополнительно отремонтировано в t-м году программного периода на q-м шаге корректировки варианта развития взамен сокращения числа закупки современных образцов РЭВ j-го типа k-го класса $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$. При этом необходимо учитывать, что может быть дополнительно отремонтирован как существующий образец РЭВ j-го типа k-го класса, аналогичный j-му типу образца, по которому снижены закупки, так и образец РЭВ такого же k-го класса, но другого j-го типа, решающий те же функциональные задачи;

$g_j^{\text{Рем}} - u_j^{(q)\text{Рем}}(t)$ – резерв возможностей промышленности по ремонту образцов РЭВ в t-м году программного периода на q-м шаге корректировки варианта развития;

$\bar{c}_j^{(q)\text{СП}}$ – в данном случае, это стоимость единичного образца РЭВ k-го класса j-го типа от закупки которого пришлось отказаться на q-м шаге корректировки варианта развития;

$\bar{c}_j^{\text{Рем}}$ – в данном случае, это стоимость ремонта единичного образца РЭВ k-го класса j-го типа, который необходимо дополнительно отремонтировать на q-м шаге корректировки варианта развития;

$\frac{\bar{c}_j^{\text{СП}}}{\bar{c}_j^{\text{Рем}}} \Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ – число образцов РЭВ j-го типа, которое может быть отремонтировано в пределах высвобождаемых ассигнований при отказе от серийных поставок $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ образцов РЭВ j-го типа k-го класса в t-м году программного периода на q-м шаге корректировки варианта развития;

$n_j^{(q)}(t) - n_j^{(q)\text{испр}}(t)$ – число неисправных образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода на q-м шаге корректировки варианта развития.

в) Проверить выполнение ограничения по исправности:

$$\frac{\sum_{j\in J_k^*} n_j^{(q)\text{испр}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{СП}} + \Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj}(t)}{\sum_{j\in J_k^*} n_{kj}^{(q)}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{СП}}} \geq M^{\text{треб}}. \quad (20)$$

2. При отказе в t-м году от ремонта образцов РЭВ k-го класса j-го типа $\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$ необходимо проверить выполнение требований нормативных документов по исправности:

$$\frac{\sum_{j\in J_k^*} n_j^{(q)\text{испр}}(t) - \Delta u_{kj}^{\text{Рем}}}{\sum_{j\in J_k^*} n_{kj}^{(q)}(t)} \geq M^{\text{треб}}. \quad (21)$$

На рисунке 1 изображен обобщенный алгоритм, реализующий методику определения рационального варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ.

Работа алгоритма начинается с ввода исходных данных (блок 1).

Далее в блоке 3 определяется значение объема финансовых средств, выделяемых на развитие совокупности подсистем образцов РЭВ, соответствующее начальному этапу алгоритма: $C_{\text{расп}}^q = C_{\text{потр}}$.

В блоке 4 проводится расчет «эталонной» динамики уровня решения задач $w_i^*(t)$ (7), соответствующей потребному варианту развития образцов РЭВ $U_{\text{РЭВ}}^*$ по годам программного периода.

Затем в блоке 5 на каждом q-м шаге корректировки варианта развития осуществляется вычисление показателя динамики развития совокупности подсистем РЭВ, характеризующего возможности образцов РЭВ по решению возлагаемых на них задач (8).

В блоках 6…20 алгоритма осуществляется расчет массива значений критерия выбора направления корректировки варианта развития (изменения числа серийно поставляемых и/или ремонтируемых образцов) $\left\{v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t), v_{kj}^{(q)\text{СП+Рем}}(t), v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)\right\}$ на q-м шаге по формулам (14)-(16).

В частности, в блоке 6 проверяется условие отнесения рассматриваемого мероприятия по j-му образцу РЭВ к компонентам векторов закупки $u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t)$ или ремонта $u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)$.

Если рассматриваемое мероприятие по j-му образцу РЭВ является компонентой векторов закупки $u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t)$, то далее осуществляется переход к блоку 7. Если нет, то далее осуществляется переход к блоку 16. При этом для компонент вектора закупки $u_{kj}^{(q)\text{СП}}(t)$ расчет величины $v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t)$ должен сопровождаться с учетом динамики последующего ремонта существующих образцов РЭВ данного класса.

В блоках 7 и 8 проверяется выполнение следующих ограничений:

- по обеспеченности в рассматриваемом t-м году программного периода, т.е. величина шага сокращения числа закупаемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода не должна привести к снижению показателя обеспеченности ниже требуемого уровня (18);
- по обеспеченности k-го класса образцами РЭВ j-го типа в последующих годах программного периода относительно рассматриваемого с учетом измененной динамики количественного состава на $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$:

$$O^{\text{треб}} \leq \frac{n_{0kj}(t) + \sum_{t=1}^{t}(u_{kj}^{\text{НИОКР}}(t) + u_{kj}^{\text{СП}}(t))}{n_{kj}^{\text{потр}}(t)} \leq 1. \quad (22)$$

Затем в блоках 10 и 11 алгоритма для каждого образца РЭВ j-го типа k-го класса, который не имеет иерархических функциональных связей с другими образцами при решении i-х задач, рассматривается возможность его сокращения на величину $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$, при этом:

- определяется объем высвобождаемых ассигнований при сокращении закупок $\overline{c}_j^{\text{СП}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$;

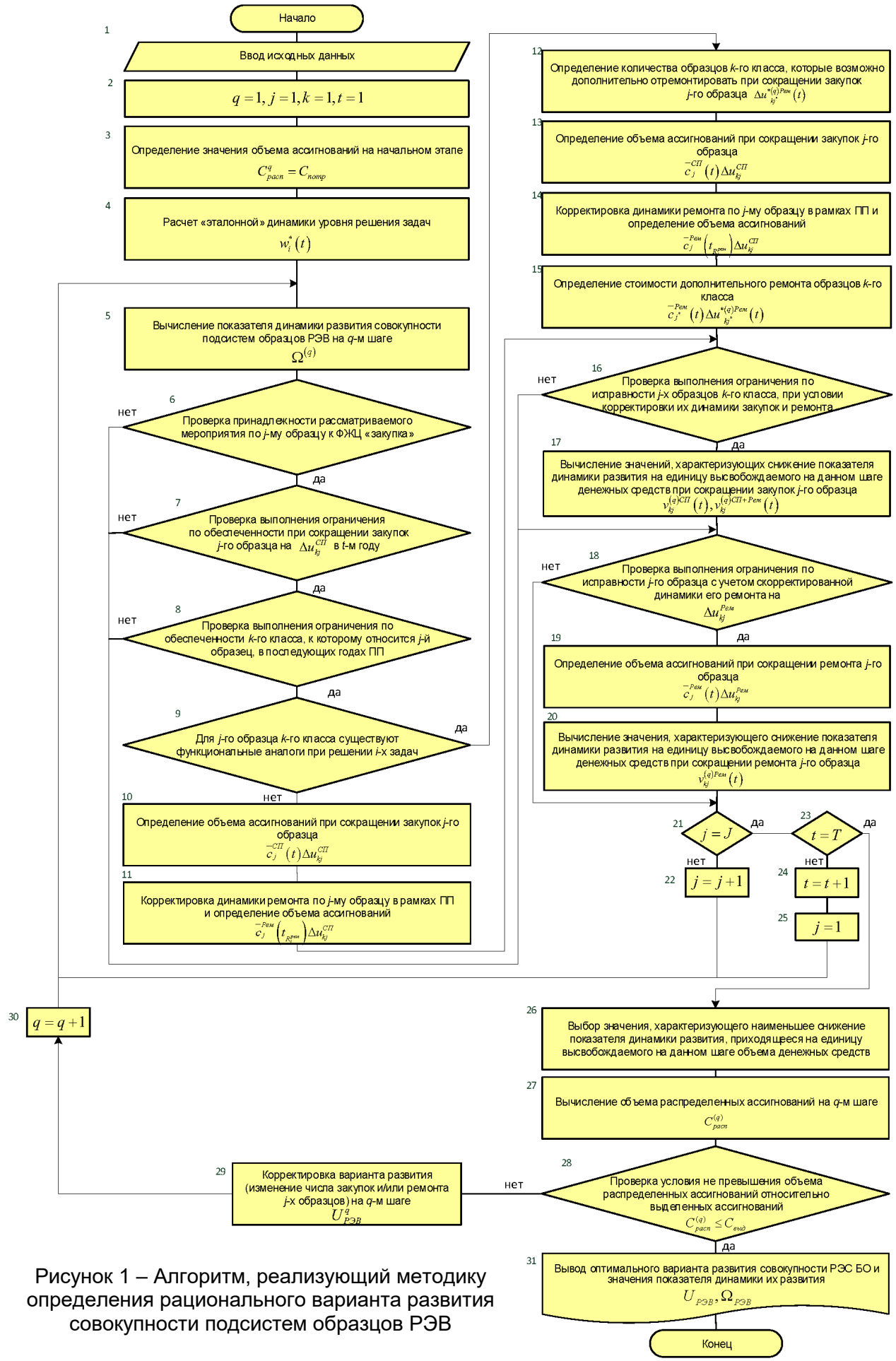

Рисунок 1 – Алгоритм, реализующий методику определения рационального варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ

- осуществляется корректировка динамики ремонта образца РЭВ j-го типа и определяется объем высвобождаемых ассигнований на его ремонт $\overline{c}_j^{\text{Рем}}(t+R_j^{\text{рем}}-1)\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ в тот год программного периода, когда бы потребовался его ремонт исходя из срока его эксплуатации с момента закупки.

При этом корректировка динамики ремонта и выделяемых на него ассигнований должна осуществляться только в рамках программного периода. Т.е. если время наступления ремонта образца РЭВ j-го типа будет выходить за рамки рассматриваемого программного периода, то стоимость выполнения ремонта не учитывается $t_{R_j^{\text{рем}}} > T \Rightarrow \overline{c}_j^{\text{Рем}}(t+R_j^{\text{рем}}-1)=0$.

Далее в блоке 16 проверяется выполнение ограничения по исправности j-х образцов РЭВ k-го класса при условии корректировки их динамики закупок и ремонта (20).

В блоке 17 вычисляется отношение величины снижения показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ, приходящееся на единицу высвобождаемых денежных средств на данном q-м шаге корректировки варианта развития при сокращении закупок образца РЭВ j-го типа на величину $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ (15).

В том случае если рассматриваемый образец РЭВ j-го типа k-го класса имеет иерархические функциональные связи с другими образцами при решении i-х задач, то в блоках 12…15 алгоритма рассматривается возможность его сокращения на величину $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$, при этом:

- определяется количество образцов РЭВ, которые возможно дополнительно отремонтировать взамен сокращенного числа закупаемых образцов РЭВ k-го класса j-го типа в t-м году программного периода. При этом должна осуществляться проверка по ограничениям (19);
- определяется объем высвобождаемых ассигнований при сокращении закупок образца РЭВ *j*-го типа $\overline{c}_j^{\text{СП}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$;
- осуществляется корректировка динамики ремонта образца РЭВ j-го типа и определяется объем высвобождаемых ассигнований на его ремонт $\overline{c}_j^{\text{Рем}}\left(t_{R_j^{\text{рем}}}\right)\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ в тот год программного периода $t_{R_j^{\text{рем}}}$, когда бы потребовался его ремонт исходя из срока его эксплуатации с момента закупки;
- определяется стоимость дополнительного ремонта количества образцов РЭВ j-го типа k-го класса $\overline{c}_{j^*}^{\text{Рем}}(t)\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)$ с учетом иерархических функциональных связей, позволяющих последовательно рассматривать возможность ремонта других образцов РЭВ j-го типа k-го класса, способных решать соответствующие i-е задачи вместо сокращения числа закупаемых $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$.

При этом, если $\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)=0$ относительно последовательно рассматриваемого в соответствии с выстроенной иерархией функциональных связей образца РЭВ j-го типа k-го класса, то рассматривается следующий по иерархии образец РЭВ k-го класса.

Далее в блоке 16 проверяется выполнение ограничения по исправности j-х образцов РЭВ k-го класса при условии корректировки их динамики закупок и ремонта (20).

В блоке 17 вычисляется отношение величины снижения показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ, приходящееся на единицу высвобождаемых денежных средств на данном q-м шаге корректировки варианта развития денежных средств при сокращении закупок образца РЭВ j-го типа на величину $\Delta u_{kj}^{\text{СП}}$ (16).

В том случае, если рассматриваемое на q-м шаге корректировки варианта развития мероприятие по j-му образцу РЭВ относится к компоненте вектора $u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)$, то из блока 6 осуществляется переход к блоку 18.

При этом, для компонент вектора $u_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)$ расчет координаты градиента $v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)$ должен сопровождаться с учетом планируемой динамики последующего ремонта рассматриваемых образцов РЭВ j-го типа k-го класса в рамках программного периода T. В частности, для каждого образца РЭВ j-го типа k-го класса рассматривается возможность его сокращения на величину $\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$. Для этого в блоках 18…20 осуществляется:

- проверка выполнения ограничения по исправности k-го класса образцами РЭВ j-го типа в рассматриваемом t-м году программного периода с учетом измененной динамики количества исправных образцов РЭВ j-го типа на величину $\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$ (21);

- определяется объем высвобождаемых ассигнований при сокращении ремонта образца РЭВ j-го типа $\bar{c}_j^{\text{СП}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$;

- вычисляется значение, характеризующее снижение показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ на единицу высвобождаемых на данном q-м шаге корректировки варианта развития денежных средств при сокращении закупок образца РЭВ j-го типа на величину $\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}$ (17).

Далее в блоках 21…25 алгоритма осуществляется проверка условий перехода к рассмотрению следующих образцов РЭВ j-го типа на всем рассматриваемом программном периоде.

Затем в блоке 26 алгоритма осуществляется выбор из полученного массива показателей $\left\{v_{kj}^{(q)\text{СП}}(t), v_{kj}^{(q)\text{СП+Рем}}(t) v_{kj}^{(q)\text{Рем}}(t)\right\}$ минимального $v^{(q)}(t)$, т.е обеспечивающего минимальное снижение показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ $\Omega^{(q)}$ на единицу высвобождающихся ассигнований и соответствующий этому значению образец РЭВ i-го типа k-го класса в t-м году программного периода и мероприятие (закупка или ремонт).

Далее в блоках 27 и 28 алгоритма вычисляется объем распределенных ассигнований в результате q-го шага корректировки варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ:

$$C_{\text{расп}}^{(q)} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}(C_j^{\text{НИОКР}}(t) + \bar{c}_j^{\text{СП}}(t)u_j^{\text{СП}}(t) + \bar{c}_j^{\text{Рем}}(t)u_j^{\text{Рем}}(t)) + C^{\text{ГП}} -$$
$$-\bar{c}_j^{\text{СП}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{СП}} - \bar{c}_j^{\text{Рем}}\left(t_{R_j^{\text{рем}}}\right)\Delta u_{kj}^{\text{СП}} + \bar{c}_{j^*}^{\text{Рем}}(t)\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t) - \bar{c}_j^{\text{Рем}}(t)\Delta u_{kj}^{\text{Рем}}. \quad (23)$$

В блоке 28 алгоритма осуществляется проверка условия не превышения объема распределенных ассигнований относительно выделенных ассигнований, учитывающего высвобождающиеся ассигнования в результате изменения числа серийно поставляемых и/или ремонтируемых образцов РЭВ i-го типа k-го класса, а также ассигнования для дополнительного ремонта образцов РЭВ j-го типа k-го класса в количестве $\Delta u^{*(q)\text{Рем}}_{kj^*}(t)$: $C_{\text{расп}}^{(q)} \le C_{\text{выд}}$.

Если $C_{\text{расп}}^{(q)} > C_{\text{выд}}$, то выполняется переход к блоку 29 в котором осуществляется корректировка варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ по результатам изменения количества закупаемых и/или ремонтируемых образцов РЭВ i-го типа k-го класса:

$$U_{\text{РЭВ}}^{q} = \left\{u_j^{\text{НИОКР}}(t), u_j^{\text{СП}}(t), u_j^{\text{Рем}}(t)\right\}, j = \overline{1,J},\ t = \overline{1,T}.$$

Далее в блоке 30 алгоритма осуществляется переход на следующий шаг процесса корректировки варианта развития (присвоение нового значения переменной номера шага) к блоку 5.

Если $C_{\text{расп}}^{(q)} \le C_{\text{выд}}$, то выполняется переход к блоку 31, в котором осуществляется вывод варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ $U_{\text{РЭВ}}^{\text{рац}}$ оптимального для распределенного объема средств $C_{\text{расп}}$ и значения показателя динамики их развития, характеризующего возможности образцов РЭВ по решению возлагаемых на них задач $\Omega_{\text{РЭВ}}$.

Результатом проведенных расчетов является динамика состава подсистем РЭВ по времени и рациональный (относительно распределенного объема финансовых средств и для принятых допущений) вариант развития совокупности подсистем образцов РЭВ, удовлетворяющий системе ограничений, а также соответствующее ему распределение финансовых средств по годам программного периода и подсистемам РЭВ.

Таким образом, разработанная методика рационального варианта развития совокупности подсистем образцов РЭВ предназначена для решения задачи поиска наилучшего варианта развития относительно потребного, удовлетворяющего условию непревышения выделяемого объема финансовых средств.

При этом для рассматриваемой совокупности подсистем образцов РЭВ характерно проявление таких системных свойств, как целостность и адаптируемость.

Свойство целостности проявляется в том, что каждый элемент сформированной группировки образцов РЭВ в результате проведения мероприятий сформированного с помощью разработанной методики варианта их развития вносит вклад в достижение некоторого наибольшего интегрального эффекта (полезности) от его функционирования, реализуемого в течение заданного отрезка времени.

Свойство адаптируемости проявляется в возможности изменения состава группировки образцов РЭВ для достижения максимального значения показателя динамики развития совокупности подсистем образцов РЭВ в условиях изменения системы ограничений по суммарным выделенным ассигнованиям, исправности и обеспеченности подразделений ВС РФ образцами РЭВ.

Список источников

1. Аносов Р.С., Луценко А.Д., Орлов В.А. Методологические аспекты обоснования стратегий развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы на долгосрочную перспективу // Вестник АВН. 2017. №3(60). С. 81-89.
2. Ласточкин Ю.И., Коробейников А.С., Ярыгин Ю.Н., Бывших Д.М. Оценка показателей войск радиоэлектронной борьбы Вооруженных Сил Российской Федерации в целях определения рационального варианта их развития // Военная мысль. 2023. №2. С. 86-95.
3. Воробьёв И.Г., Романов В.М., Попова М.А. Методологические подходы к оценке эффективности системы связи тактического звена управления // Военная мысль. 2022. №8. С. 57-65.
4. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. Изд. 2-е испр. и доп. М.: Граница, 2005. 519 с.
5. Буравлев А.И., Белорозов М.С. Модель управления технической готовностью ВВСТ при планировании и реализации Государственной программы вооружения // Вооружение и экономика. 2022. №1(59). С. 12-32.
6. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Сов. радио, 1974. 304 с.
7. Триус Е.Б. Задачи математического программирования транспортного типа. М.: Сов. радио, 1967. 208 с.
8. Многокритериальные задачи принятия решений / Под ред. Д.М. Гвишиани, С.В. Емельянова. М.: Машиностроение, 1978. 192 с.
9. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Ч.1,2 / Под ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. 520 с.

Информация об авторе

Д.М. Семерунин – SPIN код автора 5887-9082.