

А.Д. Луценко, доктор технических наук,
профессор

В.А. Орлов, кандидат технических наук,
доцент

Формализация проблемы технико-экономического обоснования долгосрочной стратегии развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы в виде задачи векторной оптимизации

Сформулирована вербальная и формализованная постановки проблемы технико-экономического обоснования долгосрочной стратегии развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы в виде задачи векторной оптимизации. Предложен алгоритм рационального решения данной задачи за счет поэтапного перехода от задачи векторной оптимизации к задаче скалярной (дискретной) оптимизации.

Система вооружения радиоэлектронной борьбы (РЭБ) Вооруженных Сил Российской Федерации (РФ) представляет собой крупный многоуровневый объект исследования и планирования, объединяющий широкий типаж техники РЭБ, размещаемой на всевозможных носителях, функционирующей в различных физических полях (радиосвязь, радионавигация, радиолокация, оптика, гидроакустика) и применяемой во всех звеньях управления и сферах (наземной, воздушной, космической, водной, подводной) как в военное, так и в мирное время [1]. Актуальной задачей современного этапа развития системы вооружения РЭБ ВС РФ является обоснование долгосрочной стратегии ее развития. Это обеспечит планомерный последовательный переход на интенсивный путь развития системы вооружения РЭБ за счет широкого внедрения инноваций и прорывных технологий и реализацию главного принципа развития техники РЭБ, а именно ее упреждающего развития по отношению к динамично развивающимся высокотехнологичным объектам РЭБ в долгосрочной перспективе [2, 3].

Формирование и обоснование долгосрочной стратегии развития системы вооружения РЭБ только с военно-технической точки зрения недостаточно, так как ресурсов на реализацию всех намеченных стратегических целей даже в долгосрочной перспективе, как правило, не хватает [4, 5]. В современных условиях ужесточения экономических ограничений возросли значимость и определяющая роль технико-экономических оценок.

Одна из **основных трудностей**, возникающих при технико-экономическом обосновании (ТЭО) долгосрочной стратегии развития системы вооружения РЭБ ВС РФ, связана с необходимостью одновременного рассмотрения всех входящих в ее состав подсистем (типов техники) РЭБ. При этом каждой подсистеме (типу техники) РЭБ соответствуют свои объекты радиоэлектронного поражения (подавления) с различными уровнем и динамикой развития, свои способы боевого применения, тактико-технические характеристики, показатели и критерии эффективности, зачастую не сводимые с друг с другом. Ряд подсистем по способам функционирования (боевого применения) взаимосвязаны, а ряд – обособлены (например, средства индивидуальной или объектовой защиты). Но в рамках отдельно взятой операции (боевых действий) все применяемые системы вооружения, комплексы и средства РЭБ независимо от своей организационной принадлежности и подчиненности вносят вклад в общий интегральный показатель эффективности РЭБ. В этих условиях исследования приобретают многокритериальный характер с большим масштабом и размерностью расчетов.

В исследованиях программно-целевого планирования развития системы вооружения РЭБ проблема многокритериальности решалась за счет рассмотрения в рамках исследований отдельных подсистем системы вооружения РЭБ, объединяющих один или несколько типов техники РЭБ, характеризующихся однородными параметрами, сводимыми между собой. При этом формулировка и решение задачи носили однокритериальный характер. При рассмотрении системы вооружения (комплектов техники) РЭБ, объединяющих несколько типов техники РЭБ, как правило, оценивались частные показатели, также связанные единым критерием. Данные подходы парировали сложность решения многокритериальной задачи, однако не в полной мере учитывали взаимосвязи различных типов техники РЭБ и их влияние на интегральный показатель эффективности РЭБ в операции (боевых действиях). Кроме того, ранее проведенные исследования охватывали только традиционный десятилетний программный период. В рамках указанного периода замена существующего образца (типа) техники РЭБ на перспективный (модернизированный) целесообразна только один раз. Соответственно экономико-математические модели замены техники РЭБ, являющиеся основным механизмом определения рациональных сроков и порядка обновления системы вооружения РЭБ, предусматривают только однократную замену техники РЭБ в рамках программного периода. Данные модели не учитывают инновационные и прорывные стратегии развития системы вооружения РЭБ, при реализации которых один инновационный (прорывной) образец (тип) техники РЭБ может заменить несколько традиционных образцов (типов) техники РЭБ.

Не в полной мере исследованы вопросы обоснования рациональных сроков и порядка переоснащения воинских формирований РЭБ на новые (современные) образцы техники РЭБ. В то же время факт создания нового образца техники РЭБ не обеспечивает повышения эффективности системы вооружения РЭБ до тех пор, пока данный образец не поступит на вооружение воинского формирования РЭБ, в составе которого будет осуществляться его боевое применение. Процесс оснащения (переоснащения) соединений, частей и подразделений РЭБ является одним из основных механизмов реализации долгосрочной стратегии развития системы вооружения РЭБ ВС РФ и требует оптимизации и управления.

Анализ современных условий формирования программ и планов развития системы вооружения РЭБ ВС РФ показывает усиление воздействия внешних макрофакторов военно-политического, экономического, военно-технического и технологического характера на перспективы ее развития. При этом комплексная количественная оценка их влияния в долгосрочной перспективе не проводилась.

Таким образом, проблема ТЭО долгосрочной стратегии развития системы вооружения РЭБ ВС РФ связана с:

- решением многокритериальной задачи, предполагающей рассмотрение в рамках одного исследования стратегий развития всех подсистем (типов техники) РЭБ с учетом традиционных, инновационных и прорывных направлений их развития;
- оптимизацией порядка и количества замен образцов (типов) техники РЭБ в рамках стратегического периода, охватывающего несколько десятилетних программных периодов;
- оптимизацией порядка переоснащения воинских формирований РЭБ при реализации различных вариантов стратегии развития системы вооружения РЭБ;
- количественным учетом влияния макрофакторов различного характера на стратегию развития системы вооружения РЭБ ВС РФ в долгосрочной перспективе.

Одним из методов решения многокритериальных задач является метод векторной оптимизации, когда при наличии множества критериев вводится составной критерий [6, 7]. Параметры, характеризующие подсистемы (типы техники) РЭБ, выражаются в различных единицах. В

этих условиях в качестве составного показателя, объединяющего боевые (тактические), технические и стоимостные показатели, предлагаем определить затраты на выполнение задачи надсистемой (объединением, соединением, воинской частью) в операции (боевых действиях) при использовании системы вооружения (подсистемы, типа техники) РЭБ с эффективностью не ниже требуемой, а критерием – его минимальное значение.

Для рассмотрения системы вооружения РЭБ ВС РФ в целом отсутствует единая форма применения (форма ведения военных действий) ВС РФ, в рамках которой применяются все входящие в состав подсистемы. В связи с этим в качестве оперативного фона для проведения оценки эффективности системы вооружения РЭБ ВС РФ в целом целесообразно рассматривать иерархическую систему типовых форм применения ВС РФ, при обеспечении которых применяются отдельные подсистемы, тем самым охватывая их полное множество.

При рассмотрении в качестве объекта исследования стратегии развития системы вооружения РЭБ более низкого уровня, например, общевойскового объединения, возникает аналогичная проблема. В состав такой системы вооружения РЭБ входят образцы техники разных типов, решающие специфические задачи РЭБ, в том числе обособлено, не объединенные единым контуром управления, оцениваемые различными показателями эффективности. В этом случае ТЭО стратегии развития такой системы вооружения РЭБ будет сводиться к поиску минимальных затрат на решение задач в операции с применением каждой подсистемы РЭБ, входящей в ее состав.

Таким образом, ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ любого уровня иерархии связано с поиском оптимальности развития ее подсистем (типов техники) РЭБ. При этом целевой функцией является вектор полных предстоящих затрат на выполнение задач в операции (боевых действиях) с применением системы вооружения РЭБ, а каждая координата вектора соответствует полным предстоящим затратам на выполнение задач в операции (боевых действиях) с применением конкретной подсистемы РЭБ с требуемым уровнем эффективности при реализации определенной стратегии ее развития.

Систему вооружения РЭБ любого уровня иерархии характеризуют следующие основные показатели:

- $n=1, \dots, N$ – тип системы вооружения РЭБ в иерархической системе, определяемый уровнем подчиненности и звеном управления;
- $a=1, \dots, A$ – тип объединения, соединения и части ВС РФ, для обеспечения военных действий которых применяется система вооружения РЭБ n -го типа;
- $v=1, \dots, V$ – формы ведения военных действий объединением (соединением, частью) a -го типа;
- $k=1, \dots, K$ – подсистемы, входящие в состав системы вооружения РЭБ n -го типа, предназначенные для решения конкретных задач в операции (боевых действиях) и объединяющие образцы техники РЭБ одного или нескольких типов;
- $r=1, \dots, R$ – задачи РЭБ, решаемые k -й подсистемой системы вооружения РЭБ n -го типа при обеспечении v -й формы военных действий;
- $h=1, \dots, H$ – типы техники РЭБ в составе k -й подсистемы системы вооружения РЭБ n -го типа.

Исходными параметрами для проведения ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ n -го типа являются:

- длительность стратегического периода (T), в рамках которого реализуется стратегия развития системы вооружения РЭБ n -го типа, объединяющего несколько программных периодов;
- состав группировки противника (в том числе объекты РЭБ) (W);
- формы применения ВС РФ (формы ведения военных действий) (V), при обеспечении которых применяется система вооружения РЭБ n -го типа;

- функциональные подсистемы (K), входящие в состав системы вооружения РЭБ;
- комплекс задач, решаемых группировкой войск в операции (боевых действиях), и задач РЭБ (R), решаемых системой вооружения РЭБ (ее подсистемами) при обеспечении действий группировки войск;
- требуемые уровни эффективности решения задач группировки войск и задач РЭБ в различных формах применения ВС РФ (\mathcal{E}_{treb});
- существующие на начало рассматриваемого периода типаж (H_k^0) и номенклатура (J_k^0) техники в составе k -й подсистемы системы вооружения РЭБ на начало рассматриваемого периода;
- перечень типовых воинских формирований РЭБ на начало рассматриваемого периода (F^0), в состав которых входят комплексы и средства системы вооружения РЭБ;
- направления (стратегии) развития различных типов техники РЭБ, определенные действующими концептуальными и нормативно-техническими документами;
- номенклатура работ (N_{pr}^0) по развитию системы вооружения РЭБ ВС РФ, запланированная в рамках программ и планов, утвержденных на начало рассматриваемого периода;
- макрофакторы военно-политического, экономического, военно-технического и технологического характера (M), оказывающие влияние на стратегию развития системы вооружения РЭБ n -го типа в рамках рассматриваемого периода.

С учетом определенной выше целевой функции проблему ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ можно сформулировать следующим образом. Определить предпочтительную стратегию развития системы вооружения РЭБ n -го типа с учетом влияния макрофакторов военно-политического, экономического, военно-технического и технологического характера в стратегическом периоде, а именно: оптимальную (рациональную) совокупность традиционных, инновационных и прорывных стратегий развития отдельных подсистем (типов техники РЭБ) системы вооружения РЭБ, типаж и номенклатуру техники в их составе в каждом году рассматриваемого периода, номенклатуру и состав целевых программ и программных мероприятий для реализации стратегий их развития, сроки и порядок (последовательность) переоснащения воинских формирований РЭБ на новую и модернизированную технику в течение всего периода, обеспечивающие минимальные полные предстоящие затраты на выполнение задач в операции (боевых действиях) с применением каждой подсистемы РЭБ, входящей в состав системы вооружения РЭБ, с требуемой эффективностью.

Проблему ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ n -го типа предлагаем формализовать в виде задачи векторной оптимизации:

$$Z_n^s(X) = \{Z_1^s(X), Z_2^s(X), \dots, Z_k^s(X), \dots, Z_K^s(X)\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\text{где } X \{Z_{ks}, H_k(t), J_k(t), N_{ks}^p(T), t_k^{jh}, P_k^{jh}, t_f^s, P_f^s\} \in \Omega, \quad (2)$$

при ограничениях:

$$\mathcal{E}_{ks}^v(H_k(t), J_k(t)) \geq \mathcal{E}_{treb}^v(T), \quad (3)$$

$$N_{ks}^p(T) \in N_{ytr}^p(T), \quad (4)$$

$$V_{prom}^s(H_k(t), J_k(t)) \leq V_{prom}^{fakt}(T), \quad (5)$$

$$A_{treb}^s(H_k(t), J_k(t)) \leq A_{lim}(T), \quad (6)$$

где $Z_n^s(X)$ – целевая функция, представляющая собой вектор полных предстоящих затрат на выполнение задач в операции (боевых действиях) с применением системы вооружения РЭБ n -го типа при реализации S -х стратегий развития ее подсистем;

$Z_k^s(X)$ – полные предстоящие затраты на выполнение задач в операции (боевых действиях) с применением k -й подсистемы РЭБ при реализации s -й стратегии ее развития;

X – вектор управляемых переменных;

Z_{ks} – затраты на реализацию s -й стратегии развития k -й подсистемы системы вооружения РЭБ;

$H_k(t)$ – типаж техники в составе k -й подсистемы системы вооружения РЭБ на t -й момент времени;

$J_k(t)$ – номенклатура техники в составе k -й подсистемы системы вооружения РЭБ на t -й момент времени;

$N_{ks}^p(T)$ – номенклатура (перечень) целевых программ (программных мероприятий), выполняемых в T -м периоде в интересах реализации s -й стратегии развития k -й подсистемы системы вооружения РЭБ;

t_k^{jh}, P_k^{jh} – сроки и последовательность замены j -го образца техники РЭБ h -го типа, входящего в k -ю подсистему системы вооружения РЭБ;

t_f^s, P_f^s – сроки и последовательность переоснащения воинских формирований f -го типа на новую и модернизированную технику РЭБ;

Ω – допустимая область изменения управляемых переменных;

\mathcal{E}_{ks}^v – эффективность выполнения задач в операции (боевых действиях) v -го типа при применении k -й подсистемы системы вооружения РЭБ при реализации s -й стратегии ее развития;

\mathcal{E}_{treb}^v – требуемое значение эффективности выполнения задач в операции (боевых действиях) v -го типа с применением системы вооружения РЭБ;

$N_{ytv}^p(T)$ – номенклатура (перечень) целевых программ (программных мероприятий) по развитию системы вооружения РЭБ, запланированная в рамках утвержденных программно-плановых документов на период времени T ;

V_{prom}^s – потребные возможности оборонно-промышленного комплекса для реализации S -х стратегий развития подсистем системы вооружения РЭБ;

$V_{prom}^{fakt}(T)$ – фактические (прогнозируемые) возможности оборонно-промышленного комплекса по созданию техники РЭБ на период времени T ;

A_{treb}^s – потребные объемы ассигнований для реализации S -х стратегий развития подсистем системы вооружения РЭБ;

$A_{lim(T)}$ – фактический (прогнозируемый) лимит ассигнований на развитие техники РЭБ на период времени T .

Значения управляемых переменных $Z_{ks}, H_k(t), J_k(t), N_{ks}^p(T)$ определяются до непосредственного проведения процедуры ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ исходя из состава подсистем системы вооружения РЭБ, а именно типов и номенклатурного перечня техники РЭБ и стратегий ее развития. Значения управляемых переменных $t_k^{jh}, P_k^{jh}, t_f^s, P_f^s$ определяются в ходе ТЭО с использованием экономико-математических моделей стратегий развития подсистем (типов техники РЭБ) и переоснащения воинских формирований РЭБ.

На основе анализа различных методов решения задач векторной оптимизации определим в качестве метода решения поставленной проблемы метод взвешенных сумм, согласно которому формируется единый критерий в виде сумм частных с учетом их «весов» [6, 7]:

$$Z_n^s(X) = \sum_{k=1}^K \lambda_k Z_k^s(X) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где λ_k – коэффициент предпочтительности (вес) стратегии развития k -й подсистемы системы вооружения РЭБ, причем $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \lambda_k > 0$.

Полученная задача скалярной оптимизации не может быть решена известными методами, так как целевая функция и зависимости в ограничениях задаются алгоритмически, а для определения правых показателей ограничений (3)-(6) применяются специальные методики.

На рисунке 1 представлен алгоритм сведения проблемы векторной оптимизации к скалярной с использованием метода взвешенных сумм с указанием входных данных и потребного методического обеспечения.

На *первом этапе* проводится декомпозиция системы вооружения РЭБ на функциональные подсистемы в интересах ТЭО стратегии ее развития.

На *втором этапе* определяются значения каждой координаты вектора с использованием совокупности экономико-математических моделей стратегий развития подсистем системы вооружения РЭБ. Данный этап по объему проводимых исследований и оценок является самым масштабным и трудоемким. Основная сложность состоит в уникальности таких моделей применительно к каждой подсистеме и особенностях их разработки, которые проявляются при:

- определении роли и места каждой подсистемы в операции (боевых действиях), уточнении перечня решаемых задач, выборе показателей эффективности решения задач и методов их оценки, проведении количественной оценки вклада подсистемы в эффективность решения задач РЭБ и задач группировки войск в операции (боевых действиях);
- анализе тенденций развития объектов РЭБ и определении на его основе традиционных, инновационных и прорывных направлений (стратегий) развития типов техники РЭБ, входящих в состав подсистемы, достижимых при этом тактико-технических характеристик;
- уточнении перечня управляемых переменных и оценке их значений;
- определении составляющих затрат на решение задач в операции (боевых действиях) при применении подсистемы и затрат на реализацию вариантов стратегий ее развития;
- обосновании сроков и порядка замены техники РЭБ, входящей в состав подсистемы, при реализации различных вариантов стратегии ее развития;
- оценке влияния макрофакторов на стратегию развития подсистемы и формирование множества вариантов стратегий, отличающихся приоритетами в развитии техники РЭБ (в зависимости от прогнозируемых макрофакторов), типами реализуемых стратегий (традиционной, инновационной, прорывной) либо их сочетаниями, перечнем необходимых мероприятий (работ) и потребных объемов ассигнований для реализации каждого варианта стратегии, достижимыми типажом и номенклатурой техники РЭБ в составе подсистемы в ходе реализации стратегии ее развития и др.

На *третьем этапе* определяются значения коэффициентов предпочтительности (весов) стратегии развития каждой подсистемы. Для этого проводится комплексная оценка вариантов стратегий по показателям эффективности, соответствия тенденциям развития ВС РФ и объектов РЭБ, реализуемости и ресурсоемкости с учетом влияния макрофакторов различного характера.

На *четвертом этапе* с использованием определенных на втором этапе критериальных значений целевых функций стратегий развития подсистем и коэффициентов их предпочтительности (весов), рассчитанных на третьем этапе, проводится объединение показателей стратегий развития подсистем в единый показатель, характеризующий стратегию развития системы вооружения РЭБ в целом. На основе результатов оценок предпочтительности стратегий формируется матрица загрузки программных мероприятий, предполагающая первоочередное включение и проведение работ, реализующих стратегии с высшим коэффициентом предпочтительности.

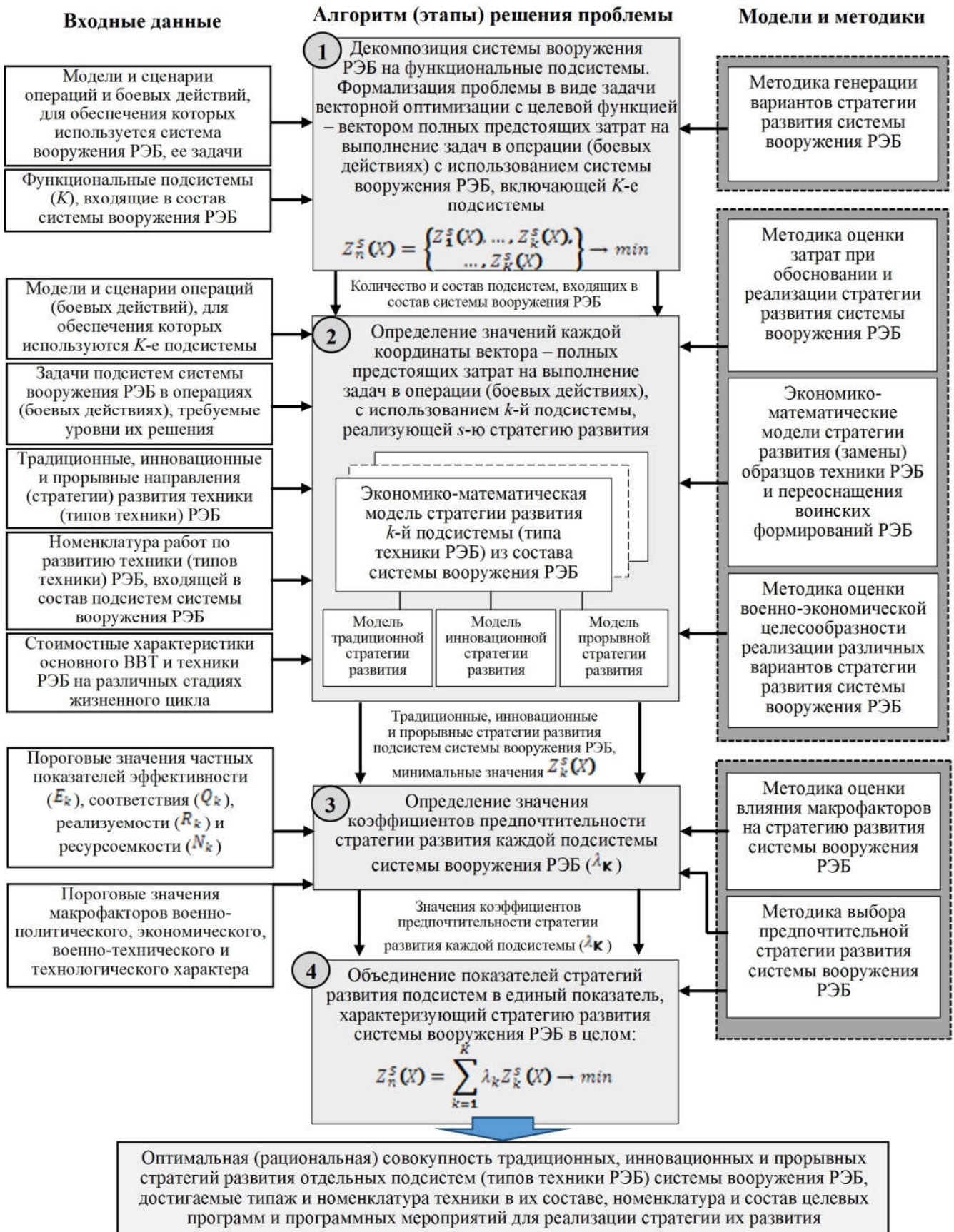


Рисунок 1 – Алгоритм сведения проблемы векторной оптимизации к скалярной при ТЭО стратегии развития системы вооружения РЭБ

Предложенный алгоритм решения задачи векторной оптимизации адаптирован для проведения ТЭО как в масштабе системы вооружения РЭБ ВС РФ, так и применительно к системам вооружения РЭБ нижнего уровня иерархии (видов ВС РФ, родов войск, объединений, соединений и т. д.). Решение сформулированной проблемы предложенным методом обеспечит взаимоувязку традиционных, инновационных и прорывных стратегий развития подсистем (типов техники) РЭБ, реализуя тем самым стратегию развития системы вооружения РЭБ ВС РФ в целом, позволит обосновать предложения в документы программно-целевого планирования в части ее развития на долгосрочную перспективу, а также поддержание требуемой эффективности системы вооружения РЭБ ВС РФ в течение всего стратегического периода.

Список использованных источников

1. Радиоэлектронная борьба. Основные этапы развития 1904-2014 гг. Военно-исторический труд / Под общ. ред. Ю.И. Ласточкина. – Рязань: Печатный дом, 2014. – 487 с.
2. Луценко А.Д., Орлов В.А., Бывших Д.М. Основы военно-экономического обоснования стратегии развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы Вооруженных Сил Российской Федерации. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 328 с.
3. Ласточкин Ю.И. Роль и место радиоэлектронной борьбы в современных и будущих боевых действиях // Военная мысль. – 2015. – № 12. – С. 14-19.
4. Военный бюджет государства. Методы обоснования и анализа / Под общ. ред. Г.С. Олейника. – М.: Военное издательство, 2000. – 359 с.
5. Буренок В.М., Косенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. – М.: Граница, 2007. – 728 с.
6. Военно-экономический анализ / Под общ. ред. С.Ф. Викулова. – М.: Военное издательство, 2001. – 351 с.
7. Баева Н.Б., Бондаренко Ю.В. Основы теории и вычислительные схемы векторной оптимизации: Учебное пособие. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 86 с.