Е.М.Гальцов, доктор технических наук, профессор
А.В.Гавриленко, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Применение парето-оптимальных решений при тактико-технико-экономическом обосновании многофункциональных РЛС воздушно-космической обороны

В статье предлагается использовать Парето-оптимальные решения для прогнозирования по критерию эффективность-стоимость тактико-технико-экономических характеристик рекомендуемых к созданию РЛС воздушно-космической обороны. При этом стоимость увязывается с их техническими характеристиками, а эффективность оценивается информационными показателями, непосредственно влияющими на эффективность обеспечиваемой системы обороны. Связь технических характеристик с информационными показателями представлена в виде трехуровневой тактико-технической модели РЛС. На основе этой модели решается задача минимизации стоимости создания РЛС при условии выполнения требований со стороны системы обороны. Приводится общая схема построения алгоритма оптимизации с учетом рекомендаций теории Парето-оптимальных решений. Обоснование выбора диапазона рабочих частот РЛС вынесено в отдельный подраздел ввиду особой значимости этой технической характеристики.

Радиолокационные станции (РЛС) воздушно-космической обороны (ВКО), являясь самостоятельными сложными техническими системами, вместе с тем в системе вооружения выполняют служебную роль обеспечения информацией активных средств. Поэтому их рассмотрение должно увязываться с потребителями информации в конкретной системе обороны, а в случае использования их информации в интересах других систем – учитываться в порядке взаимодействия – и с этими системами.

Основываясь на общей методологии анализа и синтеза сложных систем, в том числе систем вооружения, можно предложить двухэтапный тактико-технический анализ многофункциональных РЛС ВКО.

На первом этапе, соответствующем обоснованию предложений по основным направлениям развития (ОНР) вооружения и военной техники (ВВТ) и разработке технических предложений, РЛС рассматривается как один из элементов системы, выполняющий задачу обеспечения этой системы необходимой информацией в заданных условиях ее функционирования, обладающий определенной стойкостью к активному воздействию на него и требующий соответствующих затрат в виде стоимости создания и количества обслуживающего личного состава.

В качестве критерия оптимизации тактико-технических характеристик (ТТХ) РЛС выбирается эффективностно-стоимостной критерий, минимизирующий суммарную стоимость создания средств при заданной эффективности системы обороны, в состав которой входит рассматриваемая РЛС:

$$W = \min_{Э \geq Э_0} \left[C_{рлс} + C_{\Sigma} \right], \qquad (1)$$

где $C_{рлс}$ – стоимость создания РЛС;

C_{Σ} – стоимость создания остальных элементов системы ПРО;

$Э_0$ – заданная эффективность системы.

Эта задача относится к классу задач нелинейного многошагового программирования. Однако, в силу аддитивности целевой функции и в

предположении марковского характера взаимосвязей между отдельными элементами системы можно воспользоваться теорией динамического программирования и свести эту задачу к последовательной одношаговой оптимизации. Основное функциональное уравнение динамического программирования показывает, что оптимизация системы на ближайшем шаге должна строиться так, чтобы она в совокупности с оптимизацией на всех последующих шагах приводила к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный. Такая условная оптимизация позволяет в нашем случае рассматривать синтез РЛС изолированно от всей системы, если начало оптимизации совместить с выходом на эффективность системы обороны. Реакцию оптимизации системы на РЛС можно характеризовать областью допустимых значений показателей эффективности (ПЭ) РЛС, стойкости к активному воздействию (ΔP_{AB_0}) и количества личного состава $(N_{ЛС_0})$.

Тогда

$$\begin{aligned} W &= \min C_{рлс}; \\ ПЭ_{рлс} &\geq ПЭ_{рлс_0}; \\ \Delta P_{AB_{доп}} &\geq \Delta P_{AB_0}; \\ N_{ЛС} &\leq N_{ЛС_0} \end{aligned} \qquad (2)$$

При этом под показателями эффективности РЛС понимаются вероятностно-временные и точностные характеристики информации об обслуженных РЛС целях, непосредственно влияющие на эффективность обеспечиваемой группировки. Показатели эффективности могут относиться не только к данной системе обороны, но и к другим системам вооружения. Однако долевое участие РЛС в выполнении задач других систем будем рассматривать только в плане их взаимодействия.

Выражение (2) показывает правомерность автономной оптимизации РЛС и может служить основой для предварительного выбора ее рациональных ТТХ. Структура ТТХ, их связь с показателями эффективности, методами боевого применения РЛС и т.д. показаны на схеме структуры тактико-технической модели РЛС (рисунок 1) применительно к многофункциональной РЛС ПРО.

Оптимизация тактико-технико-экономических характеристик с учетом представленной схемы является сложной многокритериальной задачей.

Универсального математического метода по оптимальному решению многокритериальных задач, вообще говоря, не существует. При принятии решений в той или иной степени вносятся субъективные оценки значимости критериев лицом, принимающим решения. Вместе с тем в нашем случае является целесообразным воспользоваться рекомендациями парето-оптимальных решений [2].

Одним из основных, фундаментальных понятий этой теории является понятие оптимального по Парето или эффективного решения. Оно представляет собой обобщение понятия точки максимума числовой функции на случай нескольких функций: решение Парето-оптимально, если значение любого из критериев можно улучшить лишь за счет ухудшения значений остальных критериев. Разумеется, что такое понятие применимо на случай наличия только количественных критериев, то есть таких критериев, значения каждого из которых сравнимы по величине. Качественные критерии должны учитываться отдельно со своими приоритетами. Кроме того, указанное выше Парето-оптимальное эффективное решение не всегда является достижимым. Поэтому вводится понятие слабо эффективного решения. При рассмотрении предпочтения совокупностей критериев рассматриваются бинарные отношения, то есть совокупности упорядоченных пар.

Вводятся отношения $\geqq, \geq, >, \overline{\geqq}$, определяемые следующим образом:

$a \geqq b \leftrightarrow a_i \geqq b_i, i = 1,2,\ldots,m$; $a \geq b \leftrightarrow a \geqq b, a \neq b$, то есть справедливы m неравенств $a_i \geqq b_i$, причем хотя бы одно из них строгое:

$a > b \leftrightarrow a_i > b_i, i = 1,2,\ldots,m$;

$a \geqq b \leftrightarrow a = b$ *или* $a_i > b_i$ хотя бы для одного i из состава $i = 1,2,\ldots,m$.

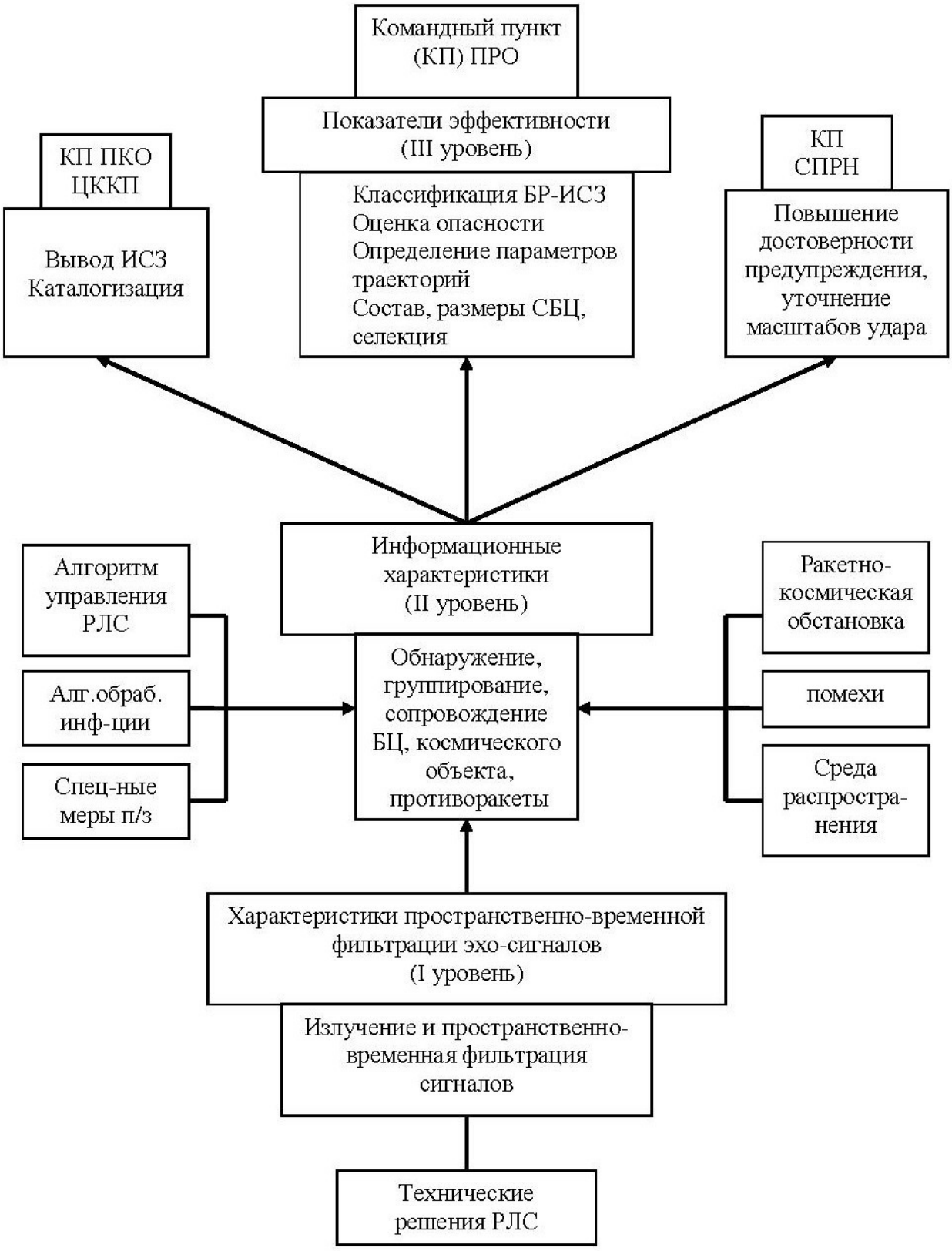

Рисунок 1 – Упрощенная схема тактико-технической модели РЛС

Обозначим $\bar{y}$ – вектор значимых критериев, а $\hat{\bar{y}}$ – результат принятых оценок на основании использования отношения предпочтения. Наибольшая по $\geqq$ достижимая оценка считается оптимальной. К сожалению, такой случай реализуется исключительно редко, так как порядок $\geqq$ не является полным. Поэтому в зависимости от существа за-

дачи предлагается использовать оценки, максимальные по $\succ$ или по $>$.

Оценка $\hat{\bar{y}}$ называется максимальной по $\succ$ (или по $>$) относительно $\bar{y}$, если не существует $\bar{y} \succ \hat{\bar{y}}$. Оценка, максимальная по $\succ$, называется эффективной, а также оптимальной по Парето, а оценка $>$ соответственно слабо эффективной, слабо оптимальной по Парето.

В общем случае значения критериев y_i могут по-разному соотноситься по предпочтительности в зависимости от того, какие значения фиксированы у всех остальных критериев. Часто встречаются такие критерии, для которых можно упорядочить по предпочтению все их значения без рассмотрения значений остальных критериев. Такие критерии называются независимыми по предпочтению от совокупности всех остальных. Задачи, в которых все критерии независимы по предпочтению от совокупности всех остальных, а отношением нестрогого предпочтения на множестве значений каждого критерия является отношение «не меньше», называются многокритериальными задачами максимизации. Применительно к таким задачам получены общие условия получения оптимальных многокритериальных решений, суть которых в основном изложена в двух теоремах [2].

Теорема 1 (Гермейер). Предположим, что $\hat{\bar{y}}$ соответствует области определения критериев $\bar{y}$ и все $\hat{y}_i > 0$. Оценка $\hat{\bar{y}}$ слабо эффективна тогда и только тогда, когда существует вектор $\bar{\mu}$ в составе множества $\bar{M}$ такой, что

$$\min_{i \in M} \mu_i \hat{y}_i = \max_{\bar{y} \in \bar{Y}} \min_{i \in M} \mu_i y_i .$$

Для слабо эффективной оценки можно принять

$$\bar{\mu} = \hat{\bar{\mu}}; \hat{\bar{\mu}}_i = \frac{\hat{\lambda}}{\hat{y}_i}, i = 1,2,\ldots,m$$

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{m} 1 / \hat{y}_k} ,$$

тогда $\max_{\bar{y} \in \bar{Y}} \min_{i \in \bar{M}} \hat{\mu}_i y_i = \hat{\lambda}$.

Указанная теорема показывает, что если все критерии положительные, то любое эффективное решение может быть выделено максимизацией функции $\min_{i \in \bar{M}} \mu_i y_i$ при надлежащим образом подобранных коэффициентах μ_i. Это значит, что задачу выбора оптимального решения при наличии векторного критерия формально можно свести к задаче оптимизации по одному критерию $\min_{i \in \bar{M}} \mu_i y_i$, в котором параметр $\bar{\mu}$ является неопределенным. Для решения последней задачи может быть использован принцип максимина.

К задаче оптимизации с критерием

$$\psi(\bar{y}, \bar{\mu}) = \min_{i \in \bar{M}} \mu_i y ,$$

в котором значение параметра $\bar{\mu} \in \bar{M}$ считается неизвестным, формально можно применить тот или иной принцип принятия решений в условиях неопределенности.

Теорема 2 (Подиновский). Пусть все y_i положительны и непрерывны. Тогда согласно принципу максимина (Вальда), минимаксного сожаления (Сэвиджа) и пессимизма-оптимизма (Гурвича) по указанному выше критерию решение $\bar{y}^*$ удовлетворяет условию

$$\min_{i \in \bar{M}} \frac{y_i}{y_i^*} = \max_{y \in \bar{y}} \min_{i \in \bar{M}} \frac{y_i}{y_i^*} ,$$

где $y_i^* = \max_{y \in \bar{y}} y_i$.

Отметим, что здесь функция $h(y) = \min_{i \in \bar{M}} \left| \frac{y_i}{y_i^*} \right|$ безразмерна и позволяет «равномерно» по всем критериям y_i приблизиться к их максимумам $\bar{y}^*$.

Максимизация *h(y)* означает выделение решений, для которых наименьшее из значений функций $\frac{y_j}{y_i^*}$ является наибольшим. Поэтому далее имеет смысл максимизировать на множестве всех таких решений второе наименьшее из значений указанных функций, затем на множестве выделенных при этом решений максимизировать третье наименьшее значение и т. д. до *m*-го наименьшего (т.е. фак-

тически наибольшего) из значений. Решения, получающиеся в результате последовательной максимизации упорядоченных по возрастанию значений *m* функций, называют симметрично лексикографически оптимальными.

В первую очередь рассмотрим парето-оптимальное решение выбора рабочих длин волн РЛС воздушно-космической обороны.

Рабочие длинны волн РЛС в различных системах обороны, включая РКО и ПВО, вообще говоря, являются достаточно консервативными и принятыми в тех условиях, которые сложились на момент задания разработки радиолокационных средств. Вместе с тем, в «Концепции воздушно-космической обороны...» поставлена задача создания в перспективе унифицированной разведывательно-информационной системы. В этой связи становится актуальным рассмотреть общий подход к обоснованию выбора рабочих длин волн РЛС ВКО, который изложен далее с учетом ранее проведенных работ.

Рабочая длина волны в принципе является технической характеристикой РЛС. Однако ее влияние сказывается не только на схемотехническом (аппаратурном) построении радиолокатора. Диапазон излучаемых частот формирует электромагнитную обстановку в зоне действия РЛС и является основным носителем информации об обслуживаемых целях. Кроме того, рабочая длина волны является своеобразной визитной карточкой РЛС, предопределяющей совершенство, универсальность, перспективность и другие качества данного класса радиолокаторов. Поэтому при выборе рабочей длины волны РЛС ВКО с учетом общего системного подхода, изложенного в [1], предлагается учитывать следующую совокупность показателей (критериев).

I. Векторные показатели тактического назначения РЛС.

1. Зона ответственности в виде пространства, определяемого угловым пространственным сектором и дальностью обнаружения заданного класса целей.

2. Достоверность сопровождения целей.

3. Ошибки определения координат сопровождаемых простых и сложных целей.

4. Пропускная способность в виде количества сопровождаемых целей с заданным качеством.

5. Сигнальная характеристика определения размера целей (величина ЭПР, блестящие точки).

6. Помехозащищенность.

7. Влияние естественной и искусственной атмосферы на характеристики РЛС.

8. Живучесть от активного воздействия.

9. Перебазируемость.

10. Возможность использования РЛС в интересах других систем обороны.

II. Технико-экономические показатели.

Стоимость создания РЛС.

Стоимость эксплуатации РЛС.

1. Стоимость ОКР.

2. Количество личного состава.

3. Наличие элементной базы.

4. Внешние ограничения на излучаемые частоты.

5. Электромагнитная совместимость.

6. Разрешенные диапазоны частот.

7. Общие показатели.

8. Наличие соответствующих диапазонов волн в зарубежных РЛС

9. Возможность двойного назначения

10. Универсальность, отработанность и перспективность выбираемого диапазона волн.

На основании вышеприведенных положений можно сделать следующие выводы.

В основу многокритериального обоснования выбора рабочих длин волн РЛС могут быть положены парето-оптимальные решения на базе слабо оптимальных (эффективных) оценок.

Процедура обоснования должна проводиться в три этапа.

На первом этапе осуществляется разбиение критериев на классы: качественные, количественные ограничительные и количественные максимизирующиеся, а также определение границ изменения величины крите-

риев. При этом следует иметь в виду, что всякое решение слабо эффективное по сокращенному набору критериев, является слабо эффективным и по полному набору критериев [2].

На втором этапе решается задача максимизации по отобранному сокращенному набору независимых критериев на основе использования положений максимина и получения симметрично лексикографических оценок.

На третьем этапе обобщаются результаты первых двух этапов и с учетом ранжированных качественных критериев принимается окончательное решение.

Для уточнения взаимосвязей между основными максимизируемыми критериями, выявления на их основе дополнительных независимых по предпочтению критериев и определения границ их изменения необходимо проведение оценок зависимостей основных критериев от диапазонов рабочих частот. В первую очередь это относится к стоимости создания РЛС и зависимости информационных характеристик от влияния атмосферы.

Здесь остановимся на вопросах прогнозирования стоимости РЛС, в том числе, с учетом стойкости к активному воздействию и количества личного состава.

В качестве отправных методических документов по прогнозированию стоимости приняты ранее разработанные «Межведомственная методика прогнозирования затрат и сроков на разработку и производство аппаратуры систем ПРО, ПРН, ККП» и «Методика определения и прогнозирования затрат на капитальное строительство объектов Министерства обороны для образцов вооружения и военной техники третьей программы». Применение этих методик рекомендовано на этапах ОНР ВВТ и разработки технических предложений. Стоимость производства аппаратуры РЛС с перераспределением излучаемой энергии может быть оценена по формуле

$$C_{мрлс} = 1{,}75 \cdot 10^{-3} K_{сект} \cdot \Gamma_{сопр_\Sigma}^{1/4} \qquad (3)$$

где $K_{сект} = \frac{(1-\cos\theta_{сект})^{3/4}}{0{,}46}$;

$\theta_{сект}$ – угол электронного сканирования от нормали;

$$\Gamma_{сопр_\Sigma} = max_t \left[\Gamma_{сопр}(t) + 0{,}87\,\Gamma_{обн}^2(t) + 0{,}87\,\Gamma_{обн}(t) \cdot \sqrt{\Gamma_{сопр}(t)} \right];$$

$\Gamma_{обн}$, $\Gamma_{сопр}$ – значения эквивалентных мощностей обнаружения и сопровождения, зависящие от сектора обнаружения, периода обзора при обнаружении и сопровождении, количества сопровождаемых целей, эффективной отражающей поверхности целей и дальности обнаружения и сопровождения целей, определяемой как дальности, на которой реализуется заданное отношение сигнал/помеха при фиксированной эффективной отражающей поверхности (ЭОП) цели.

Более наглядно стоимость производства аппаратуры РЛС может быть выражена непосредственно через ее энергетические характеристики:

$$C_{рлс} = 2{,}4 \cdot 10^{-12} \frac{K_{сект} \cdot \theta_{0,5}p}{\lambda} \cdot \sqrt{П \cdot F_n}, \qquad (4)$$

где $\theta_{0,5}p$ – ширина диаграммы направленности на передачу по половинной мощности;

$П = \frac{R_0^4 \cdot q^2}{\sigma_{эфф}}$ – потенциал РЛС по основному типу сигнала;

R_0 – дальность, на которой реализуется заданное отношение сигнал/шум q2;

$\sigma_{эфф}$ – отражающая поверхность цели;

F_n – частота посылок сигналов, применительно к которым определен потенциал станции.

При этом точность прогноза стоимости выше во втором случае (среднеквадратическая ошибка соответственно 40% и 32%).

Прогнозирование стоимости на различные планируемые периоды создания РЛС осуществляется путем ввода соответствующих индекс-дефляторов [3].

Стоимость строительства складывается из стоимостей строительства сооружений на технологических площадках, строительства

внешних инженерных коммуникаций и строительства жилого и казарменного городков. При этом учитываются строительный объем основных сооружений, стоимость строительства одного кубического метра сооружений основного назначения в зависимости от стойкости к воздействию поражающих факторов, изменение сметных цен в зависимости от района расположения РЛС и количество личного состава.

Потребное количество личного состава на этапе обоснования основных направлений развития ВВТ и разработки технических предложений также может быть определено, исходя из основных тактико-технических характеристик РЛС. Весь личный состав представляется тремя группами:

группа управления;

группа технического обслуживания;

группа ремонта.

Численность группы управления ($N_{гу}$) определяется на основе анализа опыта работы современных РЛС. Для оценки численности группы технического обслуживания РЛС разбивается на основные функционально-законченные устройства, применительно к которым определяется количество обслуживающего персонала ($N_{гто}$). Применительно к РЛС с фазированной антенной решеткой (ФАР) получена следующая аппроксимирующая зависимость

$$N_{гто} = A\left(W_{пр} \cdot m_{пр} + W_{пер} \cdot P_{ср} \cdot m_{пер}\right), \qquad (5)$$

где $W_{пр}, W_{пер}$ – количество элементов приемной и передающей ФАР, зависящие от ширины диаграммы направленности;

$P_{ср}$ – средняя излучаемая мощность РЛС;

$m_{пр}$, $m_{пер}$ – относительное число обслуживающего персонала, приходящееся на один элемент ФАР.

Коэффициенты $m_{пр}$, $m_{пер}$ определяются на основе соответствующих аналогов оцениваемой РЛС.

Численность группы ремонта ($N_{гр}$) определяется в пропорции от количества личного состава в группах управления и технического обслуживания

$$N_{гр} = K\left(N_{гу} + N_{гто}\right), \qquad (6)$$

где K – эмпирический коэффициент, определяемый отдельно для различных уровней квалификации личного состава.

Анализ вышеупомянутых методик показывает, что стоимость технологического оборудования и строительства РЛС, а также потребное количество личного состава могут быть определены на основании следующих технических характеристик радиолокационной станции: потенциала, частоты следования сигналов, ширины диаграммы направленности и длины рабочей волны. При оценке стоимости строительства учитывается объем сооружений, который может быть выражен через размеры антенн и энергетику РЛС, а также район, где предполагается создание РЛС, и требуемая стойкость к поражающему воздействию. Повариантное задание указанных технических характеристик предопределяет соответственно варианты затрат на строительство и обслуживание РЛС.

С учетом вышеизложенного для построения конкретной схемы оптимизации ТТХЭ РЛС предлагается использовать ряд специальных приемов. Среди них основными являются: понижение размерности пространства варьируемых параметров, обобщение функций условий в пространстве неварьируемых параметров и уточнение частных критериев с учетом их выхода на общий критерий «эффективность-стоимость».

Так, пространство варьируемых технических параметров РЛС предлагается рассматривать в рамках обобщенной корреляционной функции. Алгоритмы обнаружения и сопровождения задаются порогами цифрового последовательного анализа, интервалом сглаживания и стробами сопровождения. Такой подход в интересах синтеза имеет целью понизить размерность пространства варьируемых параметров и достигнуть методической универсализации при исследовании различных типов средств. Обычно начинают иссле-

дования с пространства минимальной размерности Го и далее повышают его до тех пор, пока получаемое решение не будет стабилизировано. Поскольку пространство более низкого порядка оказывается вложенным в пространство более высокого порядка

$$R_{\Gamma_0} \in R_{\Gamma_0+1} \in R_{\Gamma_0+2},$$

то все множество опорных точек, образуемых в пространстве, будет принадлежать множеству пространства более высокого ранга. Поэтому оператор выборки минимум (или максимум):

$$W_{min}(\Gamma) = min\left\{W_1^m, \ldots, W_\gamma^m \ldots, W_{\Gamma_0}^m, \ldots, W_{\Gamma_{0+1}}^m, \ldots, W\right\},$$

где W_γ^m – экстремальное значение целевой функции в пространстве поиска размерности γ, при последовательном повышении порядка пространства будет отвечать требованию

$$W_{min}(\Gamma_0) \geqslant W_{min}(\Gamma_0+1) \geqslant W_{min}(\Gamma_0+2).$$

Стабилизация решений в данной задаче оценивается на основе частных критериев в виде закономерностей изменения соответствующих характеристик.

Функции условий при стационарной (по входу) системе находятся в виде

$$G_j^l(\underline{x}, y) = G_j^l(\underline{x}_l, y_0), \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

где $\underline{x}_l = \left\{x_i\right\}_l$ – вектор $\underline{x}$ в l-м цикле данной частной реализации поиска $(j = 1, 2, \ldots, n)$;

$y_0 = \left\{y_\tau\right\}$ – вектор входных сигналов, заданных в виде системы констант $(\tau = 1, 2, \ldots, n)$.

При нестационарной (по входу) системе значения функций условий в каждой частной реализации находятся с помощью некоторого оператора обобщения функции $G(x, y)$ по пространству R_γ, то есть в виде

$$\tilde{G}_j(\underline{x}, y) = \underset{R_\gamma}{Z}\left[G(\underline{x}_l, y)\right], \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

В зависимости от выбранных критериев синтеза обобщающий оператор может иметь тот или иной вид. В практике проектирования систем обычно используют два подхода к оптимизации.

1. Синтез системы в наихудших (критических) условиях по входным сигналам.

2. Синтез системы по среднеквадратическому значению функций $G(\underline{x}, y)$, обобщенному по всему пространству.

В данной задаче представляется целесообразным использовать оба подхода. Критические условия используются для обоснования требований к отдельным каналам обнаружения и сопровождения целей, а также для определения диапазона возможной адаптации технических характеристик РЛС. Требуемые энергетические и вычислительные ресурсы РЛС определяются на основе усредненных критериев. Тем самым предположительно достигается устойчивость к различным стратегиям противника.

Особым вопросом является выбор частных критериев. Частные критерии просты и наглядны. Однако многокритериальные задачи в общем случае не имеют решений. Поэтому желательно, чтобы каждый частный критерий характеризовал решение самостоятельной задачи, а с другой стороны, по совокупности частных критериев относительно несложно должен вычисляться общий критерий. Кроме того, использование слабо зависящих друг от друга и приоритетных критериев позволяет воспользоваться принятым лексикографическим подходом к решению задачи оптимизации. Учитывая, что в многофункциональных РЛС практически независимо (своими сигналами и энергетикой) существуют режимы обнаружения, захвата на сопровождение (группирование сложных целей) и точного сопровождения, можно соответственно в качестве частных критериев принять введенные выше информационные характеристики РЛС: рубеж обнаружения, достоверность сопровождения и ошибки определения координат целей. Указанные характеристики определяются для типовых каналов обнаружения и сопровождения и типовых целей. Выбор типовых каналов и целей осуществляется на основе предварительного анализа технических характеристик РЛС и вариантов ударов

баллистических ракет (БР) с учетом полученных закономерностей изменения информационных характеристик на расчетных примерах. Переход от информационных характеристик к показателям эффективности РЛС и далее к показателю эффективности системы ПРО показан на схеме тактико-технической модели. Поскольку выход непосредственно на обобщенный показатель эффективности системы ПРО сложен и громоздок, то для определения минимального числа типовых каналов сопровождения целей в интересах снижения стоимости РЛС используется критерий количества обслуженных целей с заданным качеством (пропускная способность РЛС). Каналы обнаружения обобщаются посредством сектора обнаружения. Практическая схема выбора рациональных ТТХ РЛС с учетом минимизации стоимости приведена на рисунке 2.

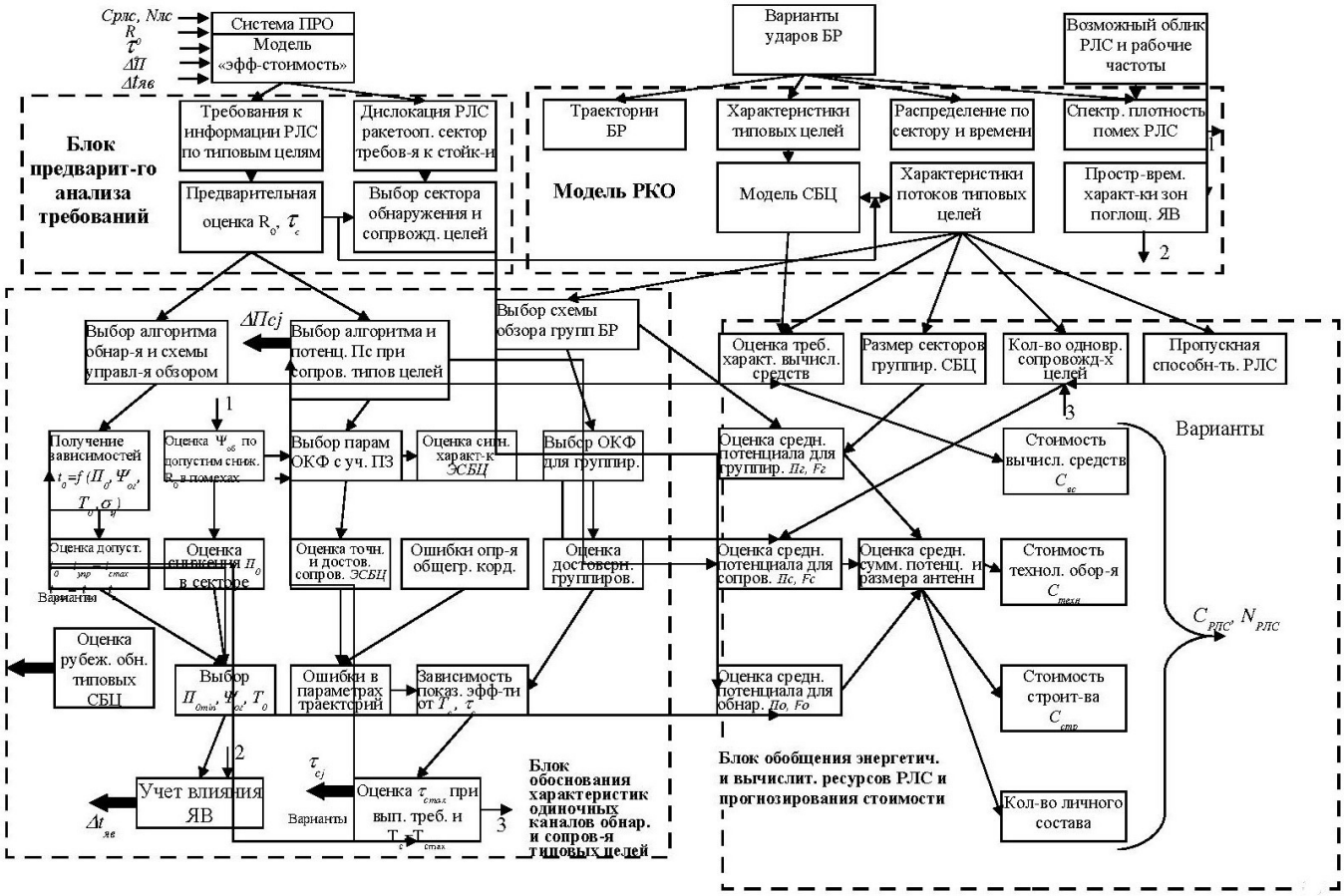

Рисунок 2 – Практическая схема выбора рациональных ТТХ РЛС с учетом минимизации стоимости

Схема включает четыре укрупненных блока.

1. Блок предварительного анализа требований активных средств к информации РЛС предназначен для первоначального выбора сектора обнаружения и сопровождения, рубежа обнаружения и допустимого времени накопления информации о целях. Оценки проводятся по упрощенным формулам с учетом априорных сведений о РЛС и характеристик заданных ударов БР.

2. Блок анализа ракетно-космической и помеховой обстановки предназначен для получения интегральных и локальных характеристик целей и помех в зоне РЛС. При этом обобщаются несколько заданных ударов БР, оцениваются интегральные характеристики в динамике изменения ракетно-космической

обстановки и выбираются типовые цели (фрагменты из удара БР).

3. Блок обоснования требований к одиночному каналу обнаружения и сопровождения типовых целей осуществляет частную оптимизацию типовых каналов РЛС (первый уровень оптимизации).

При этом учитываются требования со стороны активных средств по каждой типовой цели, помеховая и целевая обстановка в зоне РЛС, а также опорные значения рубежей обнаружения и времени сопровождения целей, полученные в блоке 1. Выбираются алгоритмы обнаружения и сопровождения целей и параметры нормированной обобщенной корреляционной функции сигналов (потенциал, ширина главных лепестков, уровень боковых лепестков). По отдельным ветвям блока проводится повариантный анализ получаемых ТТХ с целью повышения рубежей обнаружения при постоянном потенциале и снижения времени накопления информации при заданном темпе обращения к целям, потенциале сопровождения и ширине главного пика обобщенной корреляционной функции (ОКФ). С выхода блока 3 поступают на модель оценки эффективности системы ПРО рубежи обнаружения типовых целей, необходимое время их сопровождения для получения требуемых характеристик информации и удельный расход энергии, а на вход блока 4 – выбранный потенциал, ширина диаграммы направленности и период обращения к целям при их обнаружении, группировании и сопровождении.

4. Блок обобщения энергетических и вычислительных ресурсов РЛС и прогнозирования стоимости объединяет применительно к заданным вариантам удара БР отдельные каналы обнаружения и сопровождения целей воедино в виде требуемых энергетики (потенциала П и частоты следования импульсов F_n) и вычислительных средств РЛС.

При этом потенциал обнаружения обобщается через сектор обнаружения, потенциал группирования - через сектора неразрешаемых групп целей, а потенциал сопровождения – через поток сопровождаемых целей. С учетом ширины диаграммы направленности РЛС и длины рабочей волны параметры П и F_n позволяют прогнозировать стоимость радиолокационной станции в соответствии с указанной выше «Межведомственной методикой». В силу того, что затраты на создание вычислительных средств в последнее время рассматриваются отдельно, а их точное прогнозирование требует знания необходимых быстродействия и объема памяти вычислительных средств, представленная схема позволяет связать индивидуальные параметры алгоритмов с характеристиками потока обслуживаемых целей. На выходе блока определяются кроме стоимости, также количество одновременно сопровождаемых целей и количество целей, обслуженных за время удара БР – пропускная способность РЛС. Пропускная способность служит аналогом показателя эффективности, обеспечиваемой системой ПРО. Посредством этого показателя по приведенной схеме осуществляется второй уровень оптимизации ТТХ, когда определяется минимально необходимое количество каналов сопровождения и уточняется энергетика каналов обнаружения и сопровождения целей (за счет потенциала и частоты следования импульсов). Третий уровень оптимизации ТТХ РЛС предполагает выход на модель системы ПРО, куда поступают спрогнозированные на данной модели стоимость и показатели эффективности радиолокационной станции в виде вероятностно-временных характеристик решения возложенных на РЛС задач по каждой типовой цели в зависимости от расхода энергетики и вариантов условий боевого применения станции. Обратная связь с модели системы ПРО при решении задачи выбора рациональных состава и характеристик средств системы предполагает варьирование требованиями к информации РЛС. Особенностью описанной выше схемы выбора рациональных ТТХ является участие человека-исследователя, который задает исходные данные для расчетов, анализирует полу-

ченные закономерности и результаты конкретного повариантного расчета характеристик и принимает решение.

В полной мере использование данной схемы представляется целесообразным на этапе обоснования предложений по основным направлениям развития РЛС ПРО и разработке исходных данных на технические предложения по принятым к разработке РЛС. На этапе разработки тактико-технического задания на РЛС используется первый и частично второй уровень оптимизации с сохранением постоянными «эквистоимостных» характеристик станции.

Список использованных источников

1. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Сов. Радио, 1971.

2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.

3. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции. М., 2012.