

## ОБЩИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧАМ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

*Рассмотрено понятие радиолокационного информационного поля (РЛИП) и приведена система показателей его качества. Предложены общий подход к вопросам анализа и синтеза параметров РЛИП, схемы систематизации постановки данных задач, отмечены особенности их решения.*

Под РЛИП будем понимать распределение в пространстве вектора параметров, характеризующих количество и качество информации о воздушных целях, получаемой диспетчером управления воздушным движением (УВД) в результате действия наземных радиолокационных комплексов (РЛК). Необходимо отметить, что РЛИП не является физическим полем, а представляет собой продукт взаимодействия РЛК, воздушного судна (ВС), окружающей среды и диспетчера УВД. При этом характеристики поля зависят от параметров расположения, комплектации и режимов работы РЛК, рельефа местности, условий распространения радиоволн и характеристик ВС.

Для практических задач анализа, сертификации, проектирования новых воздушных трасс, выбора расположения радиолокационных позиций и определения требований к перспективным радиолокаторам РЛИП удобно рассматривать как векторное объединение локальных радиолокационных полей. В качестве локальных РЛИП целесообразно принять следующие поля:

– поле обнаружения ВС – пространственное распределение вероятности правильного обнаружения целей при заданной вероятности ложных тревог:

$$P_{\text{пв}} = f(x, y, z) \text{ при } P_{\text{лт}} = \text{const};$$

– поле точности определения координат цели – пространственное распределение вектора погрешности определения координат ВС:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{abc}}(x, y, z) = \varepsilon_{\text{abcx}} \bar{i} + \varepsilon_{\text{abcy}} \bar{j} + \varepsilon_{\text{abcz}} \bar{k};$$

– поле точности определения взаимного расположения целей – пространственное распределение вектора погрешности определения расстояния между ВС:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{отн}}(x, y, z) = \varepsilon_{\text{отнx}} \bar{i} + \varepsilon_{\text{отны}} \bar{j} + \varepsilon_{\text{отnz}} \bar{k};$$

– поле разрешающей способности – пространственное распределение вектора разрешающей способности РЛК:

$$\bar{\delta}(x, y, z) = \delta_x \bar{i} + \delta_y \bar{j} + \delta_z \bar{k};$$

– поле надежности – пространственное распределение среднего времени существования РЛИП, зависящего от времени наработки между отказами радиолокационных позиций и от их взаимного расположения на местности, т.е. от степени перекрытия радиолокационным контролем отдельных участков воздушного пространства:

$$\gamma(x, y, z) = f(x, y, z);$$



– поле вероятности получения достоверной дополнительной информации – пространственное распределение этой величины:

$$P_{\text{дост}} = f(x, y, z).$$

Для количественных и качественных исследований РЛИП целесообразно трактовать его как распределение в пространстве обобщенного информационного показателя качества (ПК) поля  $I$  как функции локальных показателей качества  $\Phi$ п, т.е.

$$I(x, y, z, t) = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n),$$

где каждый из локальных показателей качества РЛИП в общем случае является функцией координат контролируемого воздушного пространства и времени.

Следует отметить, что понятие обобщенного ПК РЛИП (как объединение всех локальных ПК) является математической абстракцией, которую трудно представить в удобной для восприятия числовой или нечисловой форме. Таким образом, ключевой проблемой при формировании системы ПК для практического решения конкретных задач анализа РЛИП является выбор рациональной системы агрегирования ПК. Критерием оптимальности должен быть максимум сжатия информации при допустимом уровне ее потерь.

Для решения задачи анализа в соответствии с требованиями ИСАО предлагается система показателей качества РЛИП, показанная на рис. 1.

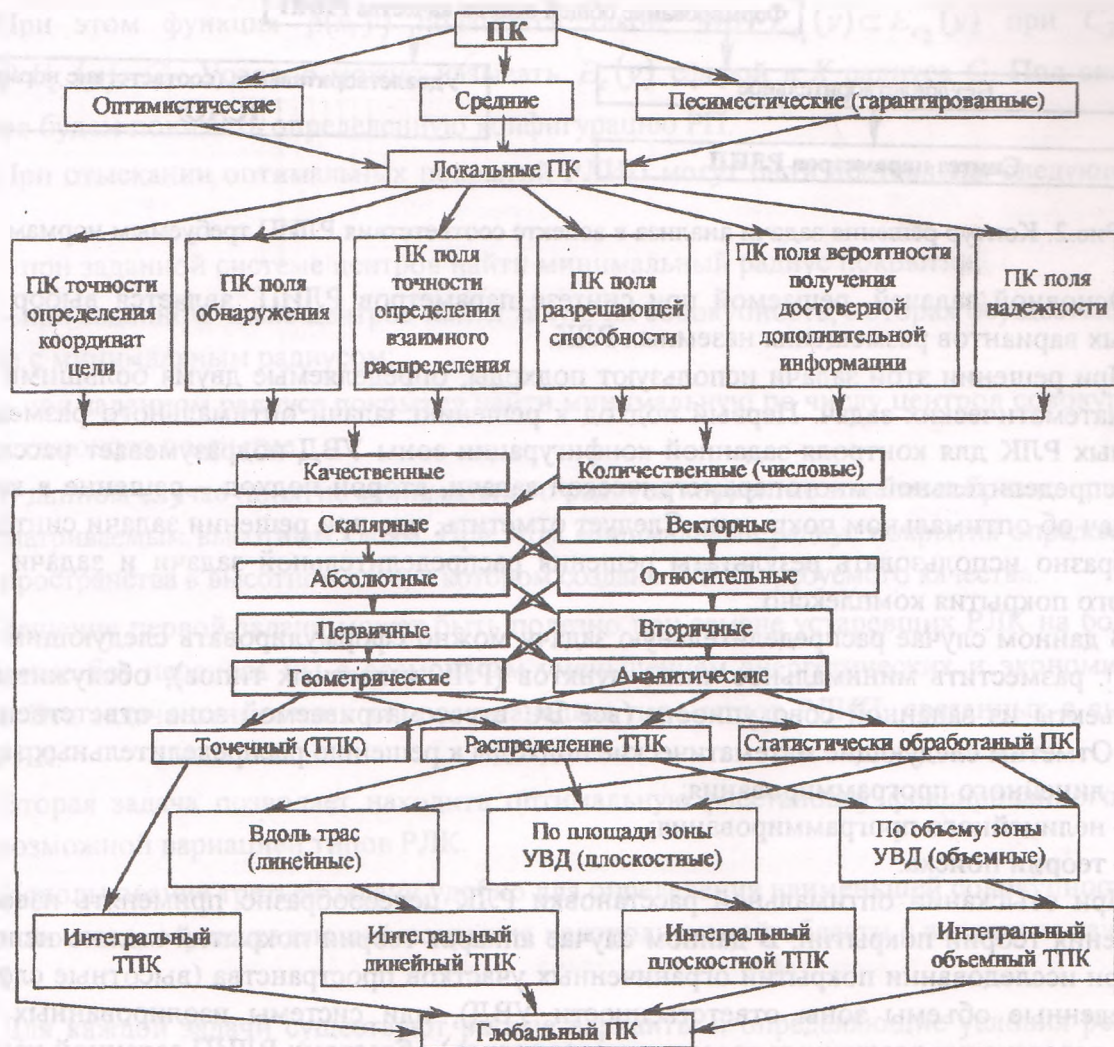


Рис. 1. Система ПК РЛИП



Общий подход к решению задачи анализа РЛИП, требуемого качества, отражает контур на рис.2.

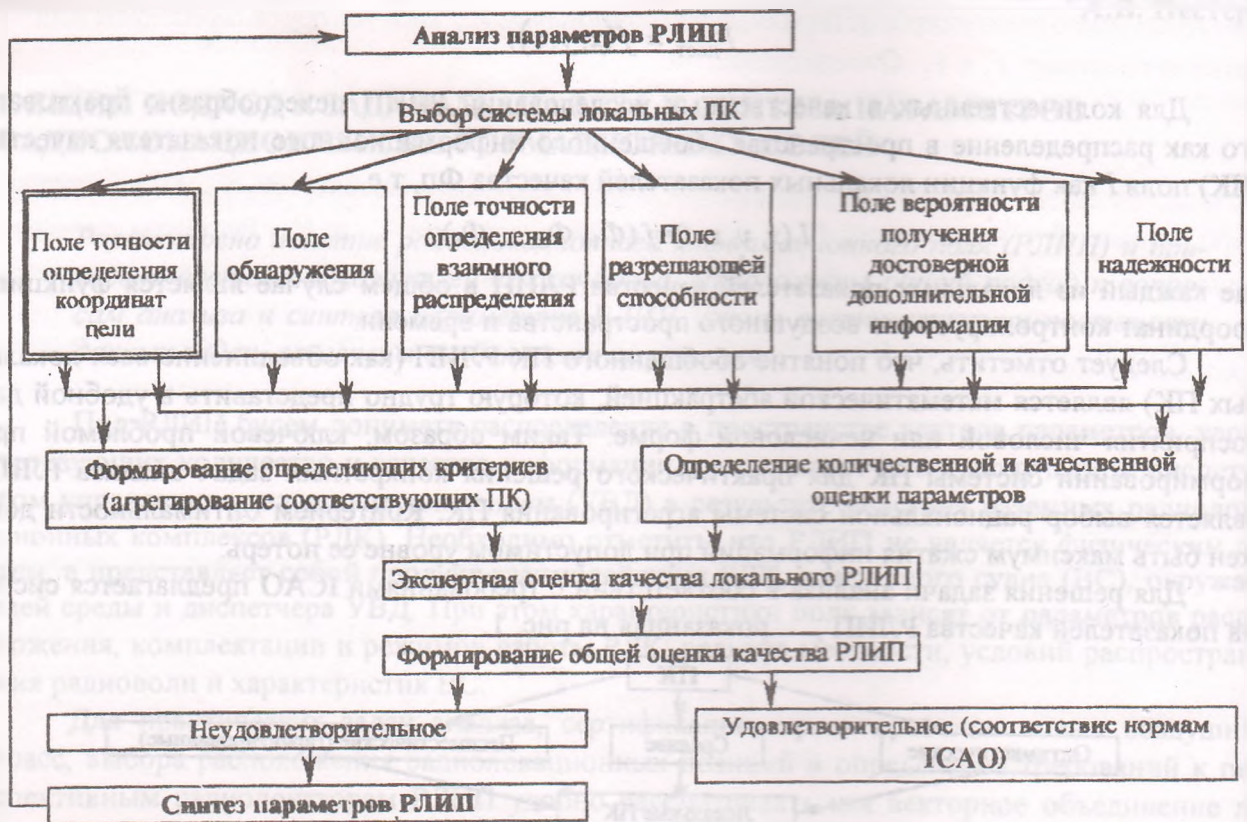


Рис.2. Контур решения задачи анализа в аспекте соответствия РЛИП требуемым нормам

Основной задачей, решаемой при синтезе параметров РЛИП, является выбор оптимальных вариантов размещения наземных РЛК.

При решении этой задачи используют подходы, определяемые двумя большими классами математических задач. Первый подход к решению задачи оптимального размещения наземных РЛК для контроля заданной конфигурации зоны УВД подразумевает рассмотрение распределительной многопараметрической задачи, второй подход – решение в контексте задач об оптимальном покрытии. Следует отметить, что при решении задачи синтеза целесообразно использовать результаты решения распределительной задачи и задачи оптимального покрытия комплексно.

В данном случае распределительную задачу можно сформулировать следующим образом [1]: разместить минимальное число пунктов (РЛК известных типов), обслуживающих все объекты из заданной совокупности (все ВС в рассматриваемой зоне ответственности УВД). Отметим следующие математические подходы к решению распределительных задач:

- линейного программирования;
- нелинейного программирования;
- теории поиска.

При отыскании оптимальной расстановки РЛК целесообразно применять известные положения теории покрытий. В данном случае аппарат теории покрытий можно использовать при исследовании покрытий ограниченных участков пространства (высотные слои или определенные объемы зоны ответственности УВД), или системы изолированных точек (точки пересечения воздушных трасс, сеть аэропортов) областями РЛИП заданной конфигурации, которая определяется в зависимости от особенностей диаграммы направленности ан-



тенны и тактико-технических параметров выбранного типа РЛК. В этом случае допустимо и полезно перекрытие соседних областей, и не допустимо наличие непокрытых участков.

Экономически обоснованным является желание получить оптимальное покрытие. Оптимальным будем считать всякое покрытие, в котором количество областей минимально. При этом поиск оптимального покрытия РЛИП областей пространства или систем изолированных точек необходимо осуществлять с учетом условий и ограничений, отражающих эколого-экономические критерии при выборе радиолокационной позиции (РП) и установки РЛК. К таким критериям можно отнести соответствующие требования к топографии местности, отсутствие населенных и промышленных пунктов в непосредственной близости от РЛК, особенности конфигурации инфраструктуры железнодорожных путей сообщения и т.д.

Математическая модель, адекватная рассматриваемой проблеме, может быть сформулирована в следующем виде [2]. Если  $X, Y$  – некоторые множества,  $\rho(x, y)$  – определенная на их произведении непрерывная неотрицательная функция;  $E_c(y) \subset X$  – множество элементов  $x \in X$  таких, что  $\rho(x, y) \leq C$  для  $y \in Y, c > 0$ , то система центров  $\{y_i\} \subset Y, i = 1, \dots, N$  осуществляет покрытие  $X$  с радиусом  $C$ , если

$$X \subset \bigcup_{i=1}^N E_c(y_i), \quad y_i \in \{y_i\} \subset Y.$$

При этом функция  $\rho(x, y)$  полагается такой, что  $E_{c_1}(y) \subset E_{c_2}(y)$  при  $C_2 > C_1$  и  $E_{c_1}(y) \setminus E_{c_2}(y) = \emptyset$ . Условно можно называть  $E_c(y)$  сферой в  $X$  радиуса  $C$ . Под системой центров будем понимать определенную конфигурацию РП.

При отыскании оптимальных покрытий РЛИП могут быть поставлены следующие задачи:

- при заданной системе центров найти минимальный радиус покрытия;
- при заданном числе центров найти такую их совокупность, которая осуществляет покрытие с минимальным радиусом;
- при заданном радиусе покрытия найти минимальную по числу центров совокупность, осуществляющую покрытие.

В данном случае понятие минимального радиуса корректно и целесообразно применять к рассматриваемым высотным слоям. При этом минимальный радиус покрытия определяет область пространства в высотном слое, в котором создано РЛИП требуемого качества.

Решение первой задачи может быть полезно при замене устаревших РЛК на более современные без переноса РП с возможным уменьшением энергетических и экономических затрат. Эта задача относится к вопросам анализа параметров РЛИП, связанных с выбором типа РЛК.

Вторая задача позволяет находить оптимальную расстановку фиксированного числа РП с возможной вариацией типов РЛК.

Использование третьей задачи удобно для определения наименьшей совокупности РЛК заданного типа, осуществляющей покрытие контролируемой области с заданным качеством РЛИП.

Для каждой задачи существуют разные варианты и определяющие условия решений. Общий подход к решению задачи синтеза параметров РЛИП показан на рис. 3.



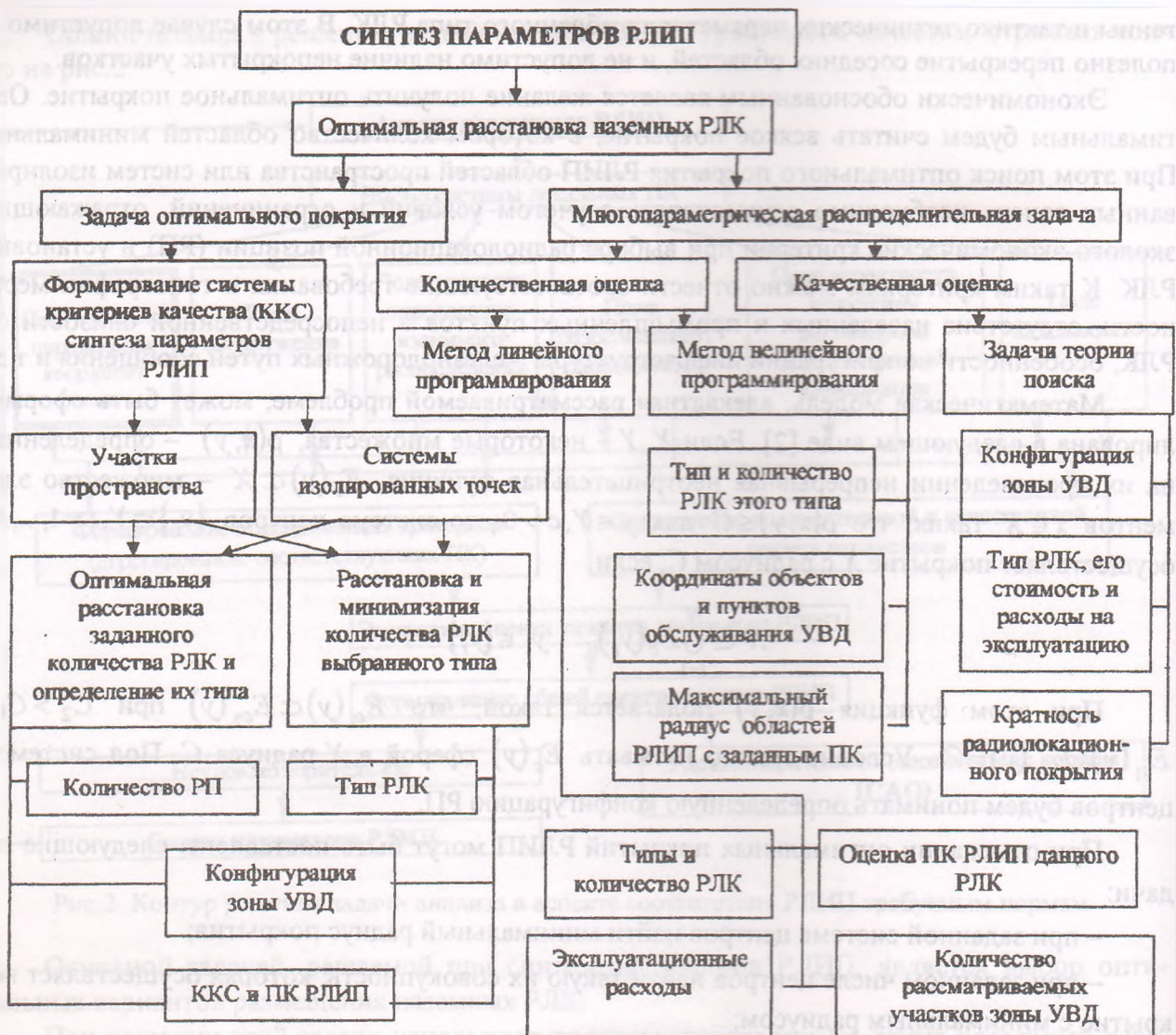


Рис. 3. Общий подход к синтезу параметров РЛИП

При отыскании оптимальной расстановки наземных РЛК особенно важным является формирование системы критериев качества синтеза параметров РЛИП. Этой системой определяются граничные параметры при нахождении оптимального покрытия РЛИП.

#### Список литературы

1. *Нестеров А.В.* Решение распределительной задачи при синтезе параметров радиолокационных информационных полей // *Вісник КМУЦА.* - № 1. - К.: КМУЦА, 1999. - С. 101-107.
2. *Пиявский С.А.* Об оптимизации сетей // *Изв. АН СССР, Техническая кибернетика.* - 1968. - № 1. - С. 68-72.

Стаття надійшла до редакції 30 листопада 1999 року.