

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.967.2

А.А. Петьков<sup>1</sup>, В.М. Булойчик<sup>2</sup>**ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Рассматриваются вопросы обоснования рационального количественно-качественного состава и территориального размещения первичных источников радиолокационной информации системы контроля воздушного пространства. Сформулированы типовые задачи, возникающие при выработке решений по обеспечению требуемых параметров радиолокационного поля при построении системы контроля воздушного пространства. Рассмотрены основные подходы к формализации и автоматизированному решению этих задач, в том числе с использованием цифровой картографической информации.*

**Введение**

Предлагаемая статья является продолжением публикаций [1, 2] по вопросам поддержки принятия решений при построении и функционировании радиолокационной системы контроля воздушного пространства (РЛС КВП) в рамках мониторинга состояния радиолокационного поля (РЛП), формируемого радиолокационными средствами этой системы. Под мониторингом состояния РЛП системы контроля воздушного пространства понимается процесс контроля текущего состояния РЛП, управления этим состоянием посредством выработки обоснованных управленческих решений в соответствии с изменяющейся обстановкой и оценки рисков, связанных с такими решениями.

При организации и реализации мониторинга состояния РЛП системы контроля воздушного пространства необходимо учитывать следующие обстоятельства:

мониторинг должен быть распространен практически на все этапы жизненного цикла РЛС КВП, начиная с ее проектирования и построения (поскольку базовый уровень показателей состояния РЛП закладывается именно на этих этапах), включая функционирование системы в различных условиях (когда уровень показателей состояния РЛП должен поддерживаться в пределах, соответствующих условиям функционирования системы);

мониторинг должен рассматриваться как средство информационно-методического обеспечения повышения эффективности использования сил и средств РЛС КВП, эффективного и оперативного управления ее конфигурацией и ресурсами, выделяемыми на функционирование системы в мирное время, в угрожаемый период и в случае возникновения вооруженного конфликта.

Исходя из вышеизложенного, при решении задач управления состоянием РЛП на этапе построения РЛС КВП должна преследоваться главная цель – максимизация основного (интегрального) показателя состояния РЛП при заданных ресурсных ограничениях. В качестве такого интегрального показателя состояния РЛП следует рассматривать  $K_{РЛП}$  – коэффициент соответствия реальных параметров РЛП, которое может быть сформировано радиолокационными средствами системы, требуемым параметрам с учетом предполагаемых условий функционирования РЛС КВП [1, 2]. В данном случае в качестве основных следует рассматривать материальные и финансовые ресурсы, которые могут быть выделены на создание и функционирование РЛС КВП исходя из экономических возможностей государства, полагая достаточными временные ресурсы на выполнение мероприятий по построению РЛС КВП в реальном масштабе времени.

В рамках управленческого аспекта мониторинга состояния РЛП системы контроля воздушного пространства можно сформулировать несколько типовых задач, решение которых в совокупности является содержанием процесса обеспечения требуемых параметров РЛП на этапе построения системы. Основными из этих задач в соответствии с описанным в [1] методическим подходом к обоснованию облика РЛС КВП являются:

- определение рационального количественно-качественного состава первичных источников радиолокационной информации (РЛИ);
- выбор позиций и обоснование рационального варианта территориального размещения средств радиолокации (СРЛ);
- обоснование рациональных режимов работы СРЛ.

Перечисленные задачи определенным образом взаимосвязаны, что позволяет рассматривать их совокупность как единую комплексную задачу, которая может и должна решаться поэтапно в определенной последовательности.

Поскольку вопросы обоснования рациональных режимов работы СРЛ достаточно подробно описаны в [3], в дальнейшем рассматриваются оптимизационные задачи, связанные с обоснованием рационального количественно-качественного состава первичных источников РЛИ и их территориального размещения.

### 1. Обоснование рационального количественно-качественного состава первичных источников радиолокационной информации

Для решения этой задачи должны быть сформулированы следующие исходные данные:

требования к параметрам РЛП системы, вытекающие из уровня потенциальных или же реальных угроз национальным интересам государства в воздушно-космической сфере. Они должны быть заданы в виде совокупности пространственных зон радиолокационного контроля различной категории важности ( $i = 1, n$ ) и описаны для каждой из зон набором горизонтальных сечений РЛП ( $j = 1, m$ ) площадью  $S_{РЛП\ ij\ mp}$  на ряде постоянных высот полета воздушного объекта относительно рельефа (на малых высотах) или уровня моря (на средних и больших высотах). Для каждого из сечений должны быть определены коэффициенты их важности  $\beta_{ij}$  с учетом коэффициентов важности каждой из пространственных зон радиолокационного контроля  $\alpha_i$ ;

ресурсные ограничения по количественно-качественному составу первичных источников РЛИ системы. Эти ограничения должны быть сформулированы в виде предельно допустимой стоимости  $C_{СРЛ\ доп}$  ресурсов, которые могут быть выделены на функционирование СРЛ исходя из экономических возможностей государства. При этом должны быть заданы стоимостные оценки каждого типа СРЛ  $C_{СРЛ\ ki}$ , включающие затраты всех ресурсов на их функционирование в различных условиях (непрерывная работа или же работа по графику с фиксированным расходом ресурса, содержание в резерве с фиксированным расходом ресурса или же без расхода ресурса и т. д.).

Общий подход к решению данной задачи, как отмечалось в [1], заключается в использовании двух основных типов моделей – модели эффективности и модели стоимости подсистемы РЛП системы контроля воздушного пространства. Соответственно при определении рационального количественно-качественного состава первичных источников РЛИ возможны две типовые постановки оптимизационной задачи.

В первой постановке задачи целью оптимизации количественно-качественного состава первичных источников РЛИ является максимизация интегральной эффективности подсистемы РЛП при фиксированном объеме имеющихся на данный период времени общих ресурсов. При такой постановке задачи фиксируется предельный объем потребных ресурсов, которые могут быть выделены на функционирование СРЛ, а количество СРЛ различного типа  $N_{СРЛ\ ki}$  выступает в качестве управляемого параметра.

Во второй постановке задачи целью оптимизации количественно-качественного состава первичных источников РЛИ является минимизация потребных ресурсов при заданном уровне интегральной эффективности подсистемы РЛП. При такой постановке задачи фиксируется предельно допустимое значение показателя эффективности построения подсистемы РЛП системы

контроля воздушного пространства, а количество СРЛ различного типа  $N_{СРЛ\ ki}$  выступает в качестве управляемого параметра.

Таким образом, рассматриваемая задача может быть приведена к двухкритериальной оптимизационной задаче, первый критерий которой вытекает из модели эффективности, а второй критерий – из модели стоимости подсистемы РЛП системы контроля воздушного пространства. При этом при распределении имеющихся ресурсов (прежде всего СРЛ различного типа для создания РЛП в каждой из пространственных зон радиолокационного контроля) целесообразно учитывать важность пространственных зон радиолокационного контроля. Это обстоятельство должно быть учтено как в модели эффективности, так и в модели стоимости подсистемы РЛП системы контроля воздушного пространства. С учетом двух критериев обобщенная целевая функция может быть записана в следующем виде:

- для  $i$ -й зоны радиолокационного контроля

$$\frac{\sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{nep\ ij}} \sum_{k=1}^p S_{СРЛ\ kj\ nom} N_{СРЛ\ ki}}{\sum_{j=1}^m \beta_{ij} S_{РЛП\ ij\ mp}} \Rightarrow \max;$$

$$\frac{\sum_{k=1}^p \gamma_{СРЛ\ ki} C_{СРЛ\ kl} N_{СРЛ\ ki}}{\alpha_i C_{СРЛ\ don}} \Rightarrow \min;$$
(1)

- для всех зон радиолокационного контроля

$$\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{j=1}^m \frac{1}{K_{nep\ ij}} \sum_{k=1}^p S_{СРЛ\ kj\ nom} N_{СРЛ\ ki}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{j=1}^m \beta_{ij} S_{РЛП\ ij\ mp}} \Rightarrow \max;$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{k=1}^p \gamma_{СРЛ\ ki} C_{СРЛ\ kl} N_{СРЛ\ ki}}{C_{СРЛ\ don}} \Rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^n N_{СРЛ\ ki} \leq N_{СРЛ\ k\ пред}, \quad k = \overline{1, p},$$
(2)

где  $K_{nep\ ij}$  – требуемый коэффициент перекрытия  $j$ -го сечения зон обнаружения СРЛ в  $i$ -й пространственной зоне радиолокационного контроля;

$S_{СРЛ\ kj\ nom}$  – площадь  $j$ -го горизонтального сечения потенциальной зоны обнаружения СРЛ  $k$ -го типа, определяемая тактико-техническими характеристиками данного средства;

$\gamma_{СРЛ\ ki}$  – коэффициент значимости СРЛ  $k$ -го типа для решения задач в  $i$ -й зоне радиолокационного контроля, определяемый функциональными возможностями данного средства;

$N_{СРЛ\ k\ пред}$  – предельное количество СРЛ  $k$ -го типа, которые могут быть задействованы в процессе функционирования системы.

Как известно, в условиях многокритериальности возможны различные подходы к выбору схемы компромисса и ее параметров. Один из возможных вариантов решения задачи обоснования рационального количественно-качественного состава первичных источников РЛИ заключается в построении области возможных решений (области Эджворта-Парето) по двум основным критериям и последующем нахождении паретооптимального решения [4, 5] методом последовательных уступок. При этом в качестве основного управляемого параметра схемы ком-

промисса следует рассматривать  $K_{пер\ ij}$  – матрицу коэффициентов перекрытия зон обнаружения СРЛ в различных зонах радиолокационного контроля на различных высотах [2].

Следует отметить, что, изменяя значения элементов матрицы  $K_{пер\ ij}$  и задавая дифференцированные требования к частотным диапазонам и функциональным возможностям первичных источников РЛИ, можно обеспечить формирование многофункционального РЛП с требуемыми параметрами в нескольких частотных диапазонах работы СРЛ с учетом режимов работы этих средств.

В результате решения рассматриваемой задачи будет определен рациональный количественно-качественный состав первичных источников РЛИ  $N_{СРЛ\ ki}$  для создания требуемого РЛП в каждой из пространственных зон радиолокационного контроля.

## 2. Обоснование рационального варианта территориального размещения первичных источников радиолокационной информации

Для решения этой задачи должны быть сформулированы детальные требования к позициям СРЛ различных типов по необходимым размерам площадок; характеру подстилающей поверхности; допустимым углам закрытия и уклона позиций; удаленности этих площадок от дорожной сети, различных источников электромагнитных излучений, опасных и иных объектов и т. д. Для оценки рельефа и характера местности в границах зоны действия РЛС КВП, а также для решения расчетных задач должна быть предоставлена цифровая картографическая информация (ЦКИ). Эта информация должна быть в виде электронной карты местности (ЭКМ) требуемого масштаба, представляющей собой многомерный массив  $M(X, Y, H, U_1, \dots, U_M)$  с требуемым набором слоев (рельеф, информация о подстилающей поверхности и находящихся на ней объектах, в том числе о гидрографии, растительности, строениях и сооружениях, дорогах, линиях связи и электропередачи, источниках электромагнитных излучений и т. д.), где  $X, Y$  – плоскостные координаты;  $H$  – высота;  $U_1, \dots, U_M$  – значения различных признаков.

Целью оптимизации территориального размещения первичных источников РЛИ является максимизация интегральной эффективности подсистемы РЛП при заданном количественно-качественном составе СРЛ различного типа. При такой постановке задачи фиксируется количественно-качественный состав первичных источников РЛИ для формирования РЛП в каждой из пространственных зон радиолокационного контроля, а их территориальное размещение выступает в качестве управляемого параметра.

Задача обоснования рационального варианта территориального размещения первичных источников РЛИ может рассматриваться как совокупность следующих поэтапно решаемых задач:

выбор на основе ЭКМ участков местности, пригодных для размещения СРЛ различного типа с точки зрения максимальной реализации их индивидуальных возможностей по радиолокационной разведке;

формирование вариантов и оптимизация территориального размещения совокупности СРЛ в каждой из пространственных зон радиолокационного контроля для создания требуемого суммарного РЛП на этапе построения системы.

### 2.1. Выбор участков местности, пригодных для размещения первичных источников радиолокационной информации

Постановка задачи данного этапа может быть сформулирована следующим образом. На ЭКМ, дискретно аппроксимирующей земную поверхность, нужно определить координаты участков местности, пригодные для размещения СРЛ различного типа с точки зрения максимизации их возможностей по созданию РЛП в каждой  $i$ -й зоне радиолокационного контроля. При этом предпочтительными следует считать позиции, обеспечивающие приближение реальных зон обнаружения СРЛ (характеризуемых площадями горизонтальных сечений  $S_{СРЛ\ kj}$ ) с учетом влияния рельефа местности и характера подстилающей поверхности к потенциальным зонам обнаружения СРЛ (характеризуемым площадями горизонтальных сечений  $S_{СРЛ\ kj\ ном}$ ).

Фактически решение рассматриваемой задачи представляет собой просмотр соответствующих элементов массива  $M(X, Y, H, U_1, \dots, U_M)$  ЭКМ в каждой из зон радиолокационного кон-

троля и селекцию тех элементов этого массива, которые удовлетворяют совокупности индивидуальных требований к позициям СРЛ различных классов. Для таких элементов разрешения ЭКМ с плоскостными координатами  $(x, y)$  формируются обобщенные решения о пригодности позиции для размещения СРЛ  $k$ -го типа  $A_k(x, y) > 0$ . В условиях отсутствия жестких временных ограничений возможно последовательное решение данной задачи по одному из вариантов. При первом варианте последовательно для каждого из плоскостных элементов разрешения ЭКМ производится проверка соответствия признаков совокупности индивидуальных требований к позициям СРЛ различных классов по каждому из слоев карты. При втором варианте осуществляется послойная проверка соответствия признаков совокупности индивидуальных требований к позициям СРЛ различных классов для каждого из плоскостных элементов разрешения ЭКМ. И в первом, и во втором случаях суммарное время решения задачи пропорционально требуемому количеству операций сравнения (следовательно, количеству анализируемых элементов разрешения и слоев ЭКМ) и определяется производительностью вычислительных средств.

Суммарное время решения задачи можно уменьшить, если учесть, что для некоторых слоев ЭКМ (например, гидрография, наличие строений и сооружений) возможно установление однозначного соответствия признаков общим требованиям к СРЛ независимо от их класса и типа. В том случае, если по какому-либо  $l$ -му признаку для элемента разрешения ЭКМ с плоскостными координатами  $(x, y)$  формируется однозначное частное решение  $A_{kl}(x, y) = 0$ , этот элемент разрешения ЭКМ может быть исключен из последующего анализа.

Таким образом, при последовательном решении задачи (независимо от используемого варианта) целесообразно сначала анализировать те слои ЭКМ, которые дают однозначное частное решение о пригодности участка местности для рассмотрения его в качестве позиции СРЛ любого типа. В результате могут быть существенно сужены области анализа по другим признакам. Для остальных анализируемых признаков, не дающих однозначное частное решение о пригодности участка местности для позиции СРЛ ( $0 < A_{kl}(x, y) \leq 1$ ), целесообразно установить приоритетность анализа и определить для них весовые коэффициенты с учетом типа СРЛ  $\zeta_{kl}$ .

Обобщенное решение о пригодности участка местности с координатами  $(x, y)$  для рассмотрения его в качестве позиции СРЛ  $k$ -го типа формируется в соответствии с выражением

$$A_k(x, y) = \prod_{l=1}^L \zeta_{kl} A_{kl}(x, y), \quad (3)$$

где  $L$  – количество анализируемых признаков.

На основе полученных результатов могут быть осуществлены предварительная селекция элементов ЭКМ на основе критерия  $A_k(x, y) > A_{k \text{ пред}}$  и формирование массивов координат участков местности  $M_{ki \text{ ном}}(x, y)$ , потенциально пригодных для размещения СРЛ различных классов, что позволяет дополнительно ограничить области анализа и размерность анализируемых массивов.

Следует заметить, что процедуры анализа некоторых признаков (например, углов закрытия и уклона позиций, удаленности этих площадок от дорожной сети, различных источников электромагнитных излучений, опасных и иных объектов и т. д.) требуют предварительного выполнения достаточно несложных, но весьма трудоемких расчетов. Применение описанных традиционных подходов к решению рассматриваемой задачи требует существенных затрат времени, что в условиях дефицита временных ресурсов в системе поддержки принятия решений обуславливает поиск соответствующих подходов к сокращению временных затрат.

При возникновении необходимости распараллеливания процесса решения рассматриваемой задачи целесообразно применять подходы, которые основаны на использовании нейросетевых технологий обработки информации [6, 7], наиболее приемлемых для решения подобных комбинаторных оптимизационных задач. Для решения задачи селекции участков местности можно применить многослойную структуру, функционирующую на основе клеточной логики, подобную по типологии нейронной сети [8, 9], что позволит использовать преимущества параллельной обработки данных. При этом в определенные слои клеточного автомата заносится информация о соответствующих слоях ЭКМ или дополнительная информация, получаемая в

результате решения некоторых расчетных задач. В отличие от традиционных методов время решения рассматриваемой задачи будет пропорционально не количеству операций сравнения, а быстродействию единичного элемента клеточного автомата и количеству анализируемых слоев ЭКМ и дополнительных признаков, что вполне приемлемо для решения практических задач даже в реальном масштабе времени.

Важным шагом решения задачи выбора приемлемых позиций для размещения СРЛ в зонах радиолокационного контроля является ранжирование элементов сформированных массивов и исключение при необходимости из массивов низкоэффективных позиций. В качестве показателя эффективности предполагаемой позиции для размещения СРЛ  $k$ -го типа предлагается рассматривать коэффициент реализации ее потенциальной зоны обнаружения  $K_{pzo\ k}$ , оценка которого может быть получена в соответствии с выражением

$$K_{pzo\ k} = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \frac{S_{СРЛ\ kj}}{S_{СРЛ\ kj\ nom}}. \quad (4)$$

В данном случае расчет внешней границы горизонтальных сечений зоны обнаружения СРЛ может производиться любым из известных способов [3], адаптированных к решению задачи с использованием ЭВМ, а оценка площадей этих сечений – путем подсчета количества элементов разрешения, накрываемых соответствующим сечением. При этом ранжирование элементов сформированных массивов  $M_{ki}(x, y)$  может осуществляться на основе убывания значения  $K_{pzo\ k}$ , а исключение из массивов низкоэффективных позиций – на основе сравнения значения  $K_{pzo\ k}$  для конкретных позиций с пороговым значением  $K_{pzo\ k\ пор}$ .

Результат решения задачи может считаться приемлемым, если выполняется условие

$$N_{noz\ ki} > N_{СРЛ\ ki}, \quad k = \overline{1, p}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где  $N_{noz\ ki}$  – количество выбранных позиций для СРЛ  $k$ -го типа в  $i$ -й зоне радиолокационного контроля.

Обеспечить выполнение условия (5) можно, изменяя в разумных пределах пороговое значение  $K_{pzo\ k\ пор}$ .

В результате решения рассматриваемой задачи для каждой зоны радиолокационного контроля будут сформированы массивы координат участков местности  $M_{ik}(x, y)$ , приемлемых для размещения СРЛ различных классов.

## **2.2. Формирование вариантов и оптимизация совокупного территориального размещения первичных источников радиолокационной информации**

Постановка задачи данного этапа может быть сформулирована следующим образом. В каждой из  $n$  зон радиолокационного контроля с использованием ЭКМ, дискретно аппроксимирующей земную поверхность, нужно определить рациональный вариант территориального размещения ограниченного количества СРЛ различного типа  $N_{СРЛ\ ki}$  на выбранных для них пригодных позициях  $N_{noz\ ki}$  с учетом системных требований. При этом предпочтительным следует считать вариант территориального размещения СРЛ в каждой из зон радиолокационного контроля, обеспечивающий максимальное приближение реальных размеров и конфигурации суммарного РЛП к требуемым параметрам с учетом влияния рельефа местности, характера подстилающей поверхности и других факторов.

При решении данной задачи должны учитываться следующие обстоятельства.

Во-первых, должна учитываться конфигурация пространственных зон радиолокационного контроля. Из этого обстоятельства вытекает предполагаемый вариант территориального размещения СРЛ для создания РЛП в зоне радиолокационного контроля (рис.1).

Например, при явно вытянутой конфигурации пространственной зоны радиолокационного контроля, когда размеры зоны по одной из ее осей существенно превосходят размеры зоны по другой оси, целесообразным является линейное построение СРЛ, а в случае, когда размеры

зоны по обеим осям соизмеримы, целесообразным является групповое построение СРЛ. При иных обстоятельствах, когда нет однозначности в соотношениях размеров зоны по осям или когда зона имеет сложную конфигурацию, целесообразно применять комбинированное построение СРЛ.

Для оценки конфигурации пространственной зоны радиолокационного контроля может применяться методика, основанная на описании площадных объектов с помощью цепного кода [10]. Цепной код представляет собой последовательность цифр, характеризующих соответствующие элементы разрешения, образующие контур горизонтального сечения пространственной зоны радиолокационной разведки на определенной высоте. Он несет в себе информацию о протяженности контура, изменении направления контура, плавности этих изменений и глубине изрезанности контура, на основе которой могут быть сформированы информативные признаки конфигурации пространственной зоны радиолокационного контроля.

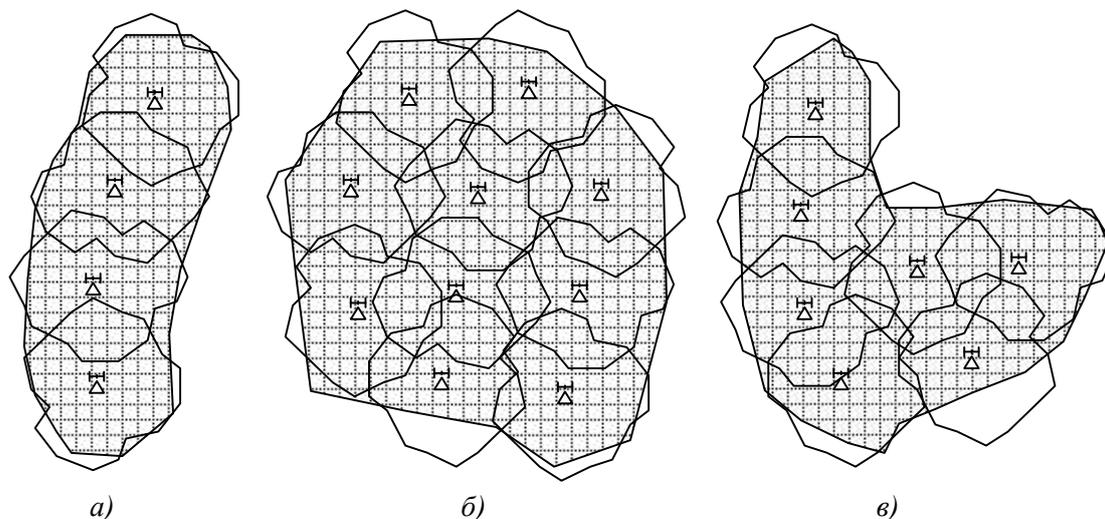


Рис. 1. Варианты территориального построения СРЛ в зоне радиолокационного контроля:  
а) линейное; б) групповое; в) комбинированное

Во-вторых, необходимо учитывать требование сосредоточения сил и средств радиолокационного контроля воздушного пространства на основных направлениях, откуда может исходить опасность реализации потенциальных угроз национальным интересам государства в воздушно-космической сфере.

В-третьих, как известно, наибольшие проблемы при построении РЛП возникают с обеспечением требуемых внешних границ поля на малых и предельно малых высотах, поэтому при формировании вариантов и оптимизации территориального размещения источников РЛИ на этапе построения системы необходимо учитывать приоритетность обеспечения требуемых параметров РЛП на минимальных высотах полета воздушных объектов.

С учетом этих обстоятельств может быть предложена следующая последовательность решения рассматриваемой задачи.

Выбирается некоторая «опорная» позиция для СРЛ с наилучшими потенциальными возможностями по обнаружению воздушных объектов на малых и предельно малых высотах исходя из типажа первичных источников РЛИ, определенных для конкретной зоны радиолокационного контроля. В качестве опорной целесообразно принять позицию, наиболее близкую к направлению сосредоточения усилий радиолокационной разведки и характеризующуюся большим значением коэффициента  $K_{pzo k}$  для данного типа СРЛ (рис.2).

Далее с учетом конфигурации пространственной зоны радиолокационного контроля определяются области (в первую очередь в направлении сосредоточения усилий радиолокационной разведки), в пределах которых могут находиться соседние СРЛ. С этой целью для опорной позиции строится кольцевая область, внешний радиус которой  $r_{max}$  определяется суммарной

дальностью обнаружения соседних СРЛ на минимальной высоте полета воздушных объектов с учетом требуемого перекрытия их зон обнаружения на данной высоте:

$$r_{\max} = \frac{d_{01on} + d_{01k}}{K_{\text{пер}i01}}, \quad (6)$$

где  $d_{01on}$  – потенциальная дальность обнаружения СРЛ (развертывание которой предполагается на опорной позиции) на минимальной высоте полета воздушных объектов;

$d_{01k}$  – потенциальная дальность обнаружения СРЛ  $k$ -го типа (развертывание которой предполагается на соседней позиции) на минимальной высоте полета воздушных объектов;

$K_{\text{пер}i01}$  – требуемое значение коэффициента перекрытия зон обнаружения соседних СРЛ на минимальной высоте полета воздушных объектов в  $i$ -й пространственной зоне радиолокационного контроля.

Внутренний радиус этой кольцевой области  $r_{\min}$  определяется средней дальностью обнаружения соседних СРЛ на минимальной высоте полета воздушных объектов с учетом требуемого перекрытия их зон обнаружения на данной высоте, а также требованиями обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) соседних первичных источников РЛИ

$$r_{\min} = \frac{d_{01on} + d_{01k}}{2K_{\text{пер}i01}} \geq R_{\text{ЭМС}kk'}, \quad (7)$$

где  $R_{\text{ЭМС}kk'}$  – минимальное расстояние между СРЛ  $k$ -го и  $k'$ -го типа, при котором обеспечивается требуемая ЭМС данных средств.

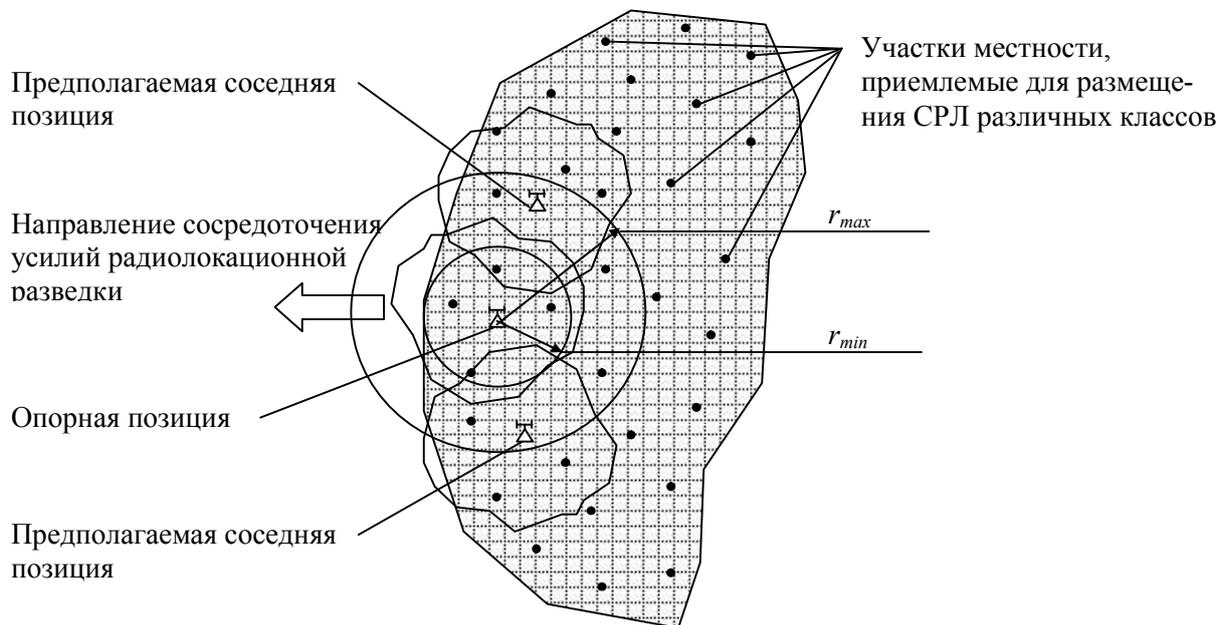


Рис. 2. Выбор опорной позиции и определение областей размещения соседних СРЛ в зоне радиолокационного контроля

В результате выполнения такой операции из массива координат участков местности  $M_{ik}(x, y)$ , приемлемых для размещения СРЛ различных классов в зоне радиолокационного контроля, будет выделено допустимое подмножество элементов массива, характеризующих возможные позиции соседних СРЛ.

Далее из этого подмножества элементов массива выбираются предполагаемые позиции для соседних СРЛ с наилучшими возможностями по обнаружению воздушных объектов на ма-

лых и предельно малых высотах в соответствии с ранее сформулированными критериями (близость к направлению сосредоточения усилий радиолокационной разведки, большее значение коэффициента  $K_{рзо\ k}$  для данного типа СРЛ). Для данных позиций выполняются аналогичные операции по определению участков зоны, в пределах которых могут находиться соседние СРЛ.

Из областей, образованных пересечением нескольких кольцевых зон, выбираются позиции для оставшихся СРЛ. Указанные процедуры повторяются до тех пор, пока не будут определены позиции для всех СРЛ различного типа  $N_{СРЛ\ ki}$ , предназначенных для формирования РЛП в данной пространственной зоне радиолокационного контроля.

Путем выбора других опорных позиций и, соответственно, реализации описанных процедур формируется множество вариантов территориального размещения ограниченного количества СРЛ различного типа  $N_{СРЛ\ ki}$  на выбранных для них пригодных позициях  $N_{ноз\ ki}$  в каждой из зон радиолокационного контроля.

Следующим шагом решения рассматриваемой задачи является оценка эффективности выбранных вариантов и определение рациональных вариантов территориального размещения источников РЛИ в каждой из зон радиолокационного контроля. В качестве показателя эффективности варианта территориального размещения СРЛ в зоне радиолокационного контроля целесообразно использовать коэффициент соответствия реальных параметров РЛП, формируемого радиолокационными средствами системы в данной зоне, требуемым параметрам с учетом условий их функционирования  $K_{РЛП\ i}$ . Оценка этого показателя может быть получена на основе выражения

$$K_{РЛП\ i} = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \frac{S_{РЛП\ ij}}{S_{РЛП\ ij\ mp}}, \quad (8)$$

где  $S_{РЛП\ ij}$  – реальная площадь  $j$ -го сечения РЛП в  $i$ -й пространственной зоне радиолокационного контроля;

$\beta_{ij}$  – коэффициент важности  $j$ -го сечения  $i$ -й пространственной зоны радиолокационного контроля.

Далее осуществляется ранжирование вариантов территориального размещения источников РЛИ в каждой из зон радиолокационного контроля по значению  $K_{РЛП\ i}$  и исключение при необходимости из дальнейшего анализа низкоэффективных вариантов, для которых выполняется условие  $K_{РЛП\ i} < K_{РЛП\ i\ mp}$ .

В том случае, когда пространственные зоны радиолокационного контроля не пересекаются, в качестве рационального варианта территориального размещения первичных источников РЛИ всей системы целесообразно принять совокупность вариантов территориального размещения СРЛ в каждой из зон, имеющих большее значение показателя  $K_{РЛП\ i}$ . Если же пространственные зоны радиолокационного контроля имеют пересечения, то при выборе рационального варианта территориального размещения первичных источников РЛИ всей системы целесообразно учитывать коэффициенты важности пространственных зон радиолокационного контроля  $\alpha_i$  и оценивать эффективность вариантов по формуле

$$K_{РЛП} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \frac{S_{РЛП\ ij}}{S_{РЛП\ ij\ mp}}, \quad (9)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент важности  $i$ -й пространственной зоны радиолокационного контроля.

Следует заметить, что, несмотря на кажущуюся простоту приводимых математических выражений, процедуры обоснования количественно-качественного состава и территориального размещения первичных источников РЛИ требуют значительных вычислительных ресурсов средств автоматизации процессов поддержки принятия решений по построению перспективной РЛС КВП и существенных временных затрат.

### Заключение

Предлагаемые в статье подходы к формализации и автоматизированному решению задач, направленных на обеспечение требуемых параметров РЛП, целесообразно и возможно реализовать в системе поддержки принятия решений по построению перспективной РЛС КВП. Это позволит при заданных ресурсных ограничениях и требованиях к параметрам РЛП повысить обоснованность управленческих решений по обеспечению требуемой эффективности функционирования системы контроля воздушного пространства.

### Список литературы

1. Петьков А.А. Поддержка принятия решений при построении системы контроля воздушного пространства государства // Информатика. – 2004. – №1. – С. 72-81.
2. Петьков А.А. Динамическая оценка состояния радиолокационного поля системы контроля воздушного пространства государства // Информатика. – 2004. – №2. – С. 94-103.
3. Петьков А.А., Рыбак Ю.М. Боевое применение средств радиолокации радиотехнических войск: Учеб. пособие. – Мн.: ВА РБ, 1999. – 295 с.
4. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2002. – 440 с.
5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учеб. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
6. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.
7. Питиенко А.А. Использование нейросетевых технологий при решении аналитических задач в ГИС // Методы нейроинформатики / Под ред. А.Н. Горбаня. – Красноярск: КГТУ, 1998. – 205 с.
8. Булойчик В.М., Гришко В.Д., Герцев А.В. Синтез нейронной сети для специальной обработки цифровой информации о местности // Наука и военная безопасность. – 2004. – №2. – С. 29-31.
9. Булойчик В.М., Гришко В.Д. Алгоритм классификации картографической информации и его нейросетевая интерпретация // Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – №1 (17). – С. 108-112.
10. Херман Г. Восстановление изображений по проекциям: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 349 с.

Поступила 23.06.04

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт  
Вооруженных Сил Республики Беларусь,  
Минск, Калиновского, 4  
e-mail: niivs@it.org.by

<sup>2</sup> Военная академия Республики Беларусь,  
Минск-57

A.A. Petkov, V.M. Buloychik

### SUBSTANTIATION OF STRUCTURE AND TERRITORIAL ACCOMMODATION OF SOURCES OF THE RADAR-TRACKING INFORMATION AT CONSTRUCTION OF THE SYSTEM OF AIRSPACE MONITORING

Questions of a substantiation of rational quantitative-qualitative structure and territorial accommodation of primary sources of the radar information of the system of airspace monitoring are considered. The typical tasks arising in decision-making on maintenance of required parameters of a radar field in construction of the system of airspace monitoring are formulated. The basic approaches to formalization and automated decision of these tasks, including the use of digital cartographical information are considered.