

Радиолокационные и радионавигационные системы

DOI 10.66032/2221-2574-2026-1-2-5-12

УДК 623.624

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ

Леньшин Андрей Валентинович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры авиационных радиоэлектронных комплексов,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»¹.

Болкунов Александр Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, директор Центра² системных исследований
и разработок (филиал) АО «НТЦ РЭБ».

Сидоренко Иван Андреевич

кандидат технических наук, преподаватель кафедры противодействия техническим средствам разведки,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»¹.

¹Адрес: 394064, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 А.²Адрес: 394064, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Конструкторов, 31А.E-mail для связи: andrey-lenshin@yandex.ru

Аннотация: С целью повышения эффективности и оперативности комплексного технического контроля разработан математический инструментарий, позволяющий быстро оценивать разведывательную доступность объектов защиты и возможности средств радиолокационной видовой разведки (РЛВР), устанавливаемых как на пилотируемые, так и на беспилотные летательные аппараты воздушного и космического базирования, а также прогнозировать возможные действия противника, что способствует принятию обоснованных решений по защите критически важных объектов. Предложенный математический инструментарий и реализующие его процедуры для быстрой оценки возможностей средств РЛВР с целью оптимального распределения сил и средств комплексного технического контроля (КТК) по защищаемым объектам дают возможность определить процент охваченных контролем объектов защиты, спрогнозировать требуемую длительность мониторинга и эффективно распределить имеющиеся ресурсы сил и средств КТК. Предложенный инструментарий реализован в специальном программном обеспечении.

Ключевые слова: радиолокационная видовая разведка, комплексный технический контроль, распределение сил и средств контроля, программное обеспечение.

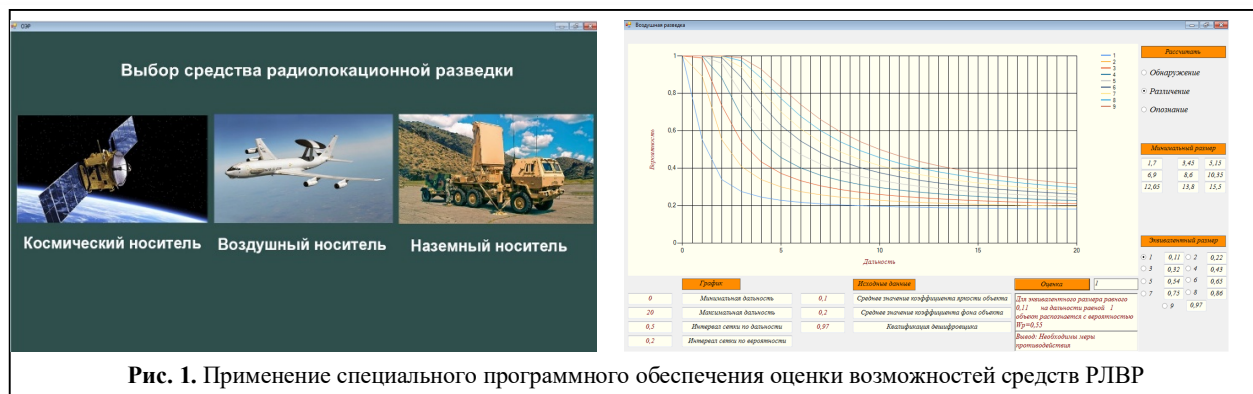
Введение

Анализ возможностей, которыми обладают иностранные технические разведки для сбора сведений о Вооружённых Силах Российской Федерации, указывает на непрерывное совершенствование и наращивание потенциала разведывательных структур ведущих мировых держав [1]. В настоящее время внимание к России, как объекту разведывательной деятельности, заметно усилилось. Первостепенное значение для иностранных разведок имеют процессы становления России как независимого игрока на мировой арене, ее внутренняя и внешняя политика, военная доктрина, современные образцы военной техники и вооружений, а также направления научно-технических исследований.

Важная роль в силу своих преимуществ отводится средствам радиолокационной видовой разведки (РЛВР), которые функционируют в дециметровых (L, S) и сантиметровых (C, X, Ku) диапазонах длин волн электромагнитного спектра и устанавливаются как на пилотируемые, так и на беспилотные летательные и космические аппараты [2–4].

Количество и качество выдаваемой средствами РЛВР информации об изображениях местности и объектов на ней (основные виды обзора — маршрутная съёмка (StripMap), телескопический режим обзора (Spotlight), широкополосный режим обзора (ScanSAR)) определяют эффективность применения вооружения, высокоточного оружия, средств радиоэлектронного поражения, а также войск в операции (в ходе ведения военных действий) [5, 6].

Все возрастающая важность РЛВР делает её первоочередным объектом преднамеренного противодействия [7, 8]. Меры по противодействию средствам РЛВР, направленные на снижение эффективности сбора данных о войсках, военных объектах и вооружении, всегда требуют затрат времени и ресурсов. В условиях ограниченного финансирования крайне важно определить оптимальный уровень противодействия средствам РЛВР, обеспечивающий решение поставленной задачи с минимальными издержками и максимальной результативностью [9, 10].



В современных условиях противодействие разведывательной деятельности приобретает все большую значимость, особенно в контексте постоянно меняющейся геополитической обстановки. Одним из наиболее сложных аспектов этой задачи является необходимость регулярной оценки разведывательной доступности объектов защиты (ОЗ) и принятия эффективных мер по их охране. Эффективным подходом к решению этой проблемы является использование математических моделей и алгоритмов для оперативной оценки возможностей средств РЛВР [11, 12], позволяющих не только анализировать текущую разведывательную обстановку, но и прогнозировать возможные действия противника, что, в свою очередь, способствует принятию более обоснованных решений по защите ОЗ.

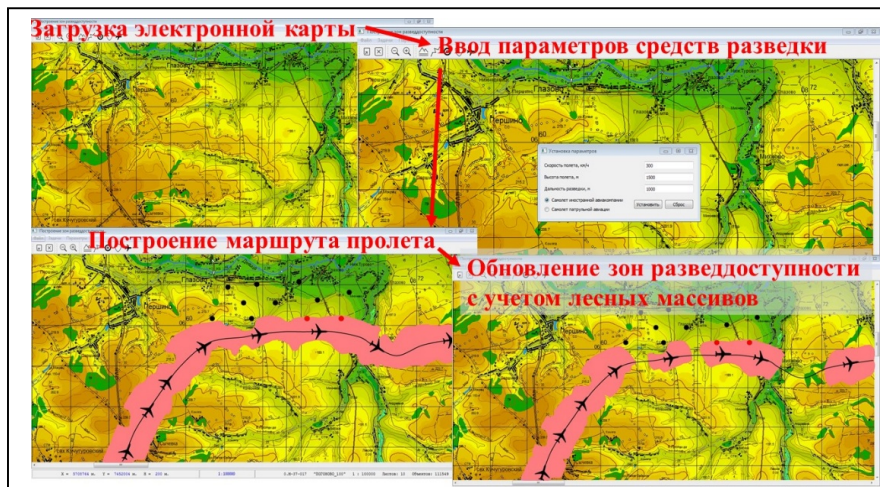
Применяемое программное обеспечение (ПО) обеспечивает быструю и точную оценку уязвимости контролируемого объекта для разведки, учитывая особенности ландшафта и используя автоматизированные процессы. Тем не менее, из-за ограниченности ресурсов, выделенных для контроля, невозможно полноценно охватить все обнаруженные потенциально доступные для разведки объекты. Развитие и внедрение алгоритмов для оптимального распределения ресурсов контроля по объектам РЛВР способствует созданию более эффективных инструментов для анализа разведывательной ситуации, что, в свою очередь, уменьшает риски, связанные с разведывательной активностью иностранных государств. В конечном счёте, результативное противодействие разведывательным операциям требует комплексного подхода, охватывающего как всесторонний анализ разведывательной доступности, так и применение имеющихся сил и средств, что и станет главным фокусом данного исследования. Данная работа является продолжением исследований, направленных на повышение оперативности и эффективности противодействия РЛВР иностранных государств.

Целью работы является разработка математического аппарата, позволяющего оперативно оценивать возможности радиолокационной видовой разведки с учётом распределения имеющихся сил и средств комплексного технического контроля (КТК) по ОЗ, для специализированного программного обеспечения средств КТК.

Существуют факторы, способные заметно повлиять на точность таких оценок, включая время проведения разведки и наличие различных препятствий для радиолокационных сигналов (например, природный рельеф местности или погодные условия) [8, 13]. Эти аспекты были учтены посредством разработки специального программного обеспечения (рис. 1) с использованием электронных карт местности и матрицы высот (рис. 2).

Интеграция современных технологий и математических подходов в процесс анализа разведывательной доступности защищаемых объектов — значимый шаг на пути к совершенствованию системы противодействия РЛВР. Это не только улучшит качество принимаемых решений, но и обеспечит оперативную реакцию на изменения обстановки, что критически важно для обеспечения безопасности и защиты государственных интересов.

Методология эффективного распределения ресурсов контроля объектов, нуждающихся в защите от средств РЛВР, основывается на следующих принципах:



1) объекты, подлежащие контролю, характеризуются комплексной иерархией, включающей множество территориально разнесённых компонентов, что обуславливает необходимость как индивидуальной оценки степени контроля каждого объекта, так и оценки охвата всей группы объектов в целом [14];

2) существенное увеличение количества вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) с защищёнными параметрами, а также средств РЛР, в современных условиях создаёт значительные трудности для оперативной идентификации технических каналов утечки информации;

3) для достижения необходимого уровня контроля объектов требуется автоматизация процессов оценки вероятности обнаружения объектов защиты средствами РЛВР и планирования применения средств контроля.

Автоматизация решения задачи распределения ресурса включает следующие этапы:

1) создание и пополнение баз данных (БД), содержащих характеристики средств РЛВР, ОЗ и условий разведки;

2) использование электронной карты местности при выполнении расчётных задач распределения ресурсов;

3) применение автоматизированных методов оперативной оценки разведдоступности ОЗ;

4) интеграция результатов оценок для отдельных средств контроля и для группировки сил и средств КТК в целом.

Рассмотрим математическое представление системы контроля объектов. Масштаб контроля определяется следующими факторами: числом подконтрольных объектов, частотой запросов на проверку, необходимым временем для проведения контроля, расстоянием до объектов, объёмом задействованных ресурсов и их характеристиками, такими, как скорость развёртывания и перемещения между объектами [14].

Система контроля представляется как многоканальная система обслуживания с ограничением на среднее время ожидания заявок в очереди (n — количество средств контроля). Задачи контроля рассматриваются как запросы на обслуживание, поступающие в систему. Поток запросов является простейшим с определённой интенсивностью, время обслуживания и время ожидания в очереди — случайные величины со средними значениями, которые известны. Важно, чтобы объекты были проверены в установленные сроки. Допускается временная задержка начала контроля, если все средства контроля заняты, что соответствует модели системы обслуживания с ограниченным временем ожидания. Величина задержки $\bar{t}_{ож}$ не должна превышать разницу между средним временем обнаружения объектов противником $t_{ср}$ и временем предотвращения нарушения $t_{пр}$ и определяется из соответствующего условия:

$$\bar{t}_{ож} \leq t_{ср} - t_{пр} = t_{ср} - (t_{к} + t_{орг}). \quad (1)$$

Временной интервал обнаружения нештатной ситуации обозначается как $t_{к}$, а время, затрачиваемое на подготовку и реализацию мер по устранению нарушения, как $t_{орг}$.

Вероятность контроля излучений РЭС можно определить, как

$$W_{РЭС} = p_{по} \cdot p_{па} \cdot p_{мп}, \quad (2)$$

где $p_{по}$ — вероятность обслуживания заявки подсистемой обнаружения средства КТК; $p_{па}$ — вероятность обслуживания заявки подсистемой анализа; $p_{мп}$ — вероятность обслуживания заявки подсистемой определения местоположения, если местоположение контролируемых РЭС известно и пеленгование не производится, то $p_{мп} = 1$.

Продолжительность этапа обнаружения может варьироваться от десятков минут до нескольких дней. Распределение времени, требуемого на выполнение каждого контрольного мероприятия, а также времени ожидания заявки в очереди на обслуживание, может быть любым, при этом математическое ожидание для этих величин составляет $t_{обс}$ и $\bar{t}_{ож}$ соответственно. Процесс выполнения каждой задачи рассматривается как последовательность этапов, включающих сбор ресурсов, их транспортировку из одной зоны контроля в другую, развёртывание и непосредственное осуществление контрольных действий [14]. Содержание этих этапов может варьироваться в зависимости от ситуации.

Среднее время, необходимое для выполнения задачи (обслуживание заявки) $t_{обс}$, определяется как

$$t_{обс} = t_{св} + t_{п} + t_{раз} + t_{к}, \quad (3)$$

где $t_{св}$, $t_{п}$, $t_{раз}$, $t_{к}$ — среднее время свёртывания, перемещения, развёртывания и контроля соответственно.

Эффективность СМО оценивается вероятностью отказа в обслуживании запроса $P_{отк}$, зависящей от числа каналов (n) и параметров $\beta = t_{обс} / \bar{t}_{ож}$ и $\alpha = \lambda t_{обс}$. Эта вероятность связана со степенью охвата контролем соотношением

$$\pi_j = 1 - P_{отк}. \quad (4)$$

Модели СМО учитывают динамику контроля объектов, но не акцентируют внимание на качестве контроля каждого объекта РЛВР. Предполагается, что любые нарушения на объекте выявляются при контроле с абсолютной достоверностью.

Рассмотрим математическую модель зонального контроля объектов РЛВР. Средства РЛВР можно представить как элементы СМО. Обслуживание запроса (наличие ОЗ в районе разведки) состоит из этапов: а) обнаружение объекта; б) классификация объекта; в) анализ совокупности объектов. Некоторые этапы могут отсутствовать. Степень охвата контролем — это доля проконтролированных ОЗ от

общего количества, численно она равна вероятности контроля ОЗ, имеющего демаскирующий признак (ДП). Контроль ОЗ включает обнаружение объекта и его классификацию. Вероятность контроля ОЗ определяется по формуле

$$W_{\text{ОЗ}} = W_{\text{ПО}} \cdot W_{\text{ПК}}, \quad (5)$$

где $W_{\text{ПО}}$ — вероятность обслуживания заявки подсистемой обнаружения; $W_{\text{ПК}}$ — вероятность обслуживания заявки подсистемой классификации.

Имеется несколько (n) приёмников поиска ОЗ, которые осуществляют поиск путём разведки района или конкретной области с объектом. При обнаружении ОЗ в одном из районов разведки подаётся заявка в подсистему периодического контроля на классификацию выявленного ОЗ. Вероятность обнаружения ОЗ за время его существования определяется выражением

$$P_{\text{ОБН}} = \frac{t_{\text{ОЗ}}}{T_{\text{ПР}}} [1 - \exp(-T_{\text{ПР}}/t_{\text{ОЗ}})], \quad (6)$$

где $t_{\text{ОЗ}}$ — средняя продолжительность ведения РЛВР в районе ОЗ; $T_{\text{ПР}}$ — общий период ведения РЛВР;

$$T_{\text{ПР}} = \begin{cases} \frac{S_0}{\gamma n} + \frac{S_0 \tau_{\text{АН}} \xi}{n} & \text{при свободном поиске ОЗ,} \\ \frac{N}{n} (\tau_{\text{АН}} + \tau_{\text{ПЕР}}) & \text{при поиске в фиксированном районе,} \end{cases} \quad (7)$$

S_0 — общая площадь района РЛВР; γ — скорость разведки минимального района; $\tau_{\text{АН}}$ — время анализа объекта, необходимое для его обнаружения ($\tau_{\text{АН}}$ зависит от размера объекта, применения средств маскировки и имитации); ξ — плотность разведки; N — количество объектов в районе; $\tau_{\text{ПР}}$ — время перестройки средств РЛВР [15]. При выводе формулы (7) полагалось, что ОЗ, находящиеся в пределах зоны разведки, обнаруживаются достоверно.

Для определения вероятности обслуживания заявки подсистемой классификации воспользуемся формализацией функционирования этой подсистемы в виде СМО с ограниченным средним временем ожидания заявок в очереди. Возможность такой формализации обусловлена тем, что классификация по заявке, поступающей из подсистемы обнаружения, могут быть выполнена с некоторой задержкой. Величина такой задержки определяется как

$$\bar{t}_{\text{ОЖ}_2} \leq t_{\text{ИЗЛ}} - t_{\text{ОБН}} - t_{\text{ОБС}_2}, \quad (8)$$

где $t_{\text{ОБН}} = T_{\text{ПР}}/2$ — среднее время обнаружения ОЗ; $t_{\text{ОБС}_2}$ — время классификации ОЗ, которое для автоматизированных подсистем $t_{\text{ОБС}_2} \approx 2...3$ с, для неавтоматизированных — не менее 100 с.

Если правая часть выражения (8) меньше нуля, то $\bar{t}_{\text{ОЖ}_2}$ следует считать равным нулю и использовать для вычисления вероятности обслуживания

известную модель СМО с потерями заявок. Интенсивность входного потока заявок подсистемы классификации определяется как

$$\lambda_{12} = M/T_{\text{ПР}}, \quad (9)$$

где M — количество ОЗ, обнаруженных подсистемой обнаружения за время $T_{\text{ПР}}$;

$$M = \begin{cases} \frac{\Phi_0}{K_f} & \text{при свободном поиске ОЗ,} \\ N\rho & \text{при поиске в фиксированном районе,} \end{cases} \quad (10)$$

K_f — коэффициент прореживания объектов (в процессе разведки ряд объектов, не являющихся информативными объектами разведки, исключаются из дальнейшего анализа), $K_f \approx 2,60...2,85$; $\rho = t_{\text{ОЗ}}/(t_{\text{ОЗ}} + t_{\text{П}})$ — относительное время нахождения ОЗ в районе разведки; $t_{\text{П}}$ — средняя продолжительность паузы между разведкой.

Вероятность отказа в обслуживании заявки $P_{\text{ОТК}_2}$ подсистемой классификации зависит от параметров $\alpha = \lambda_{12} t_{\text{ОБС}_2}$, $\beta = t_{\text{ОБС}}/\bar{t}_{\text{ОЖ}}$, n_2 (n_2 — количество каналов обслуживания в подсистеме классификации). Вычислив эти параметры, находим $P_{\text{ОТК}_2}$ и вероятность обслуживания $P_{\text{ОБС}}$.

На основании полученных ранее результатов [9—11, 16] и с учётом необходимого времени контроля объектов РЛВР синтезирован алгоритм рационального распределения сил и средств контроля по ОЗ, представленный на рис. 3.

Методика установления оптимального количества контрольных операций и целей РЛВР на конкретный временной интервал реализуется согласно шагам, представленным на рис. 3. На первом этапе (блок 1) в систему вводятся наименования подлежащих контролю элементов РЛВР и средств имитации, а также извлекаются из базы данных предписанные сроки проведения контрольных мероприятий.

Второй этап (блок 2) посвящён формированию графика потребности в контролируемых параметрах. При этом принимаются во внимание особенности комплектации объекта РЛВР, применяемые методы маскировки и имитации, а также итоги анализа возможностей разведывательных средств РЛВР противника. Исключаются из списка объекты, которые невозможно обнаружить средствами РЛВР, даже при отсутствии мер защиты информации. Все объекты контроля в той или иной степени подвержены обнаружению хотя бы одним средством разведки.

На третьем этапе (блок 3) формируются списки контрольных районов и входящих в них объектов, которые могут быть проверены каждой группой контроля из определённой позиционной зоны. Четвёртый этап (блок 4) включает оценку необходимой длительности контроля объектов. Необходимо определить оптимальное распределение N_m

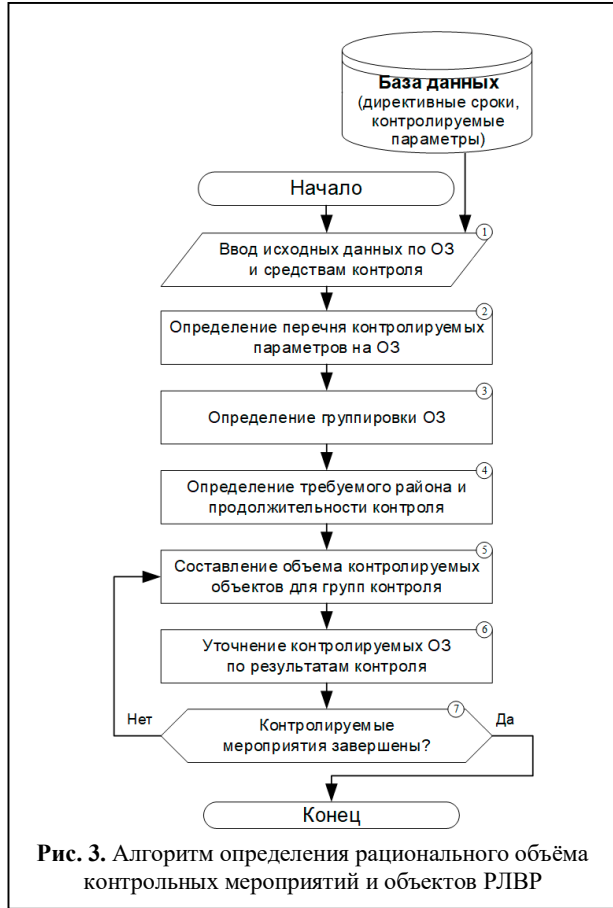


Рис. 3. Алгоритм определения рационального объема контрольных мероприятий и объектов РЛВР

($m = \overline{1, M}$) каналов обнаружения M между участками контроля L , которое обеспечивает:

- 1) требуемый охват контроля при минимальном задействовании ресурсов;
- 2) необходимую оперативность проведения контроля;
- 3) исключение дублирования контроля участков разными каналами;
- 4) соответствие времени контроля участков техническим возможностям канала обнаружения n ($n = \overline{1, N_m}$);
- 5) соответствие контролируемых участков зоне действия канала обнаружения.

Математическая постановка задачи имеет следующий вид. Определить матрицу

$X_0 = \|x_{mnl}\|_{M, N_m, L}$, для которой

$$\sum_{m=1}^M \max_{1 \leq n \leq N_m} x_{mnl} \rightarrow \min, \quad 1 \leq l \leq L, \quad (11)$$

$$x_{mnl} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta f_l \cap \Delta F_{mn} \text{ и } R_{ms} \geq R_0, \\ 0, & \text{в иных случаях,} \end{cases} \quad (12)$$

при линейных ограничениях на переменные

$$\sum_{l=1}^L t_{mnl} x_{mnl} \leq T_{mnl}, \quad (13)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{mnl} \leq 1, \quad (14)$$

а также при условии

$$t_{mnl} \leq t_l, \quad (15)$$

где R_{ms} — радиусы зон контроля m -х ОЗ s -ми средствами КТК, при которых обеспечивается вероятность энергетического обнаружения излучений $P_{\text{обн}} \geq 0,9$; t_{mnl} — времена просмотра m -м средством контроля по n -му каналу l -го участка; t_l — требуемая оперативность контроля l -го участка контролируемого района.

Данная задача относится к задачам нелинейного целочисленного программирования. Для её решения определено правило выбора для n -го канала обнаружения m -го средства контроля участков. Для этого введено понятие «приоритетности» контролируемых участков: участок считается приоритетнее другого участка, если ОЗ, попадающие в участок, доступнее меньшему числу средств контроля, меньше важность ОЗ, и, кроме того, участок характеризуется большей требуемой оперативностью контроля t_l , если

$$\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S a_{ms} \delta_{ls} < \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S a_{ms} \delta_{(l+1)s}, \quad t_l > t_{l+1}, \quad (16)$$

$$a_{ms} = \begin{cases} 1, & \text{если } R_{ms} \geq R_0, \\ 0, & \text{в иных случаях,} \end{cases} \quad (17)$$

$$\delta_{ls} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta l_i \cap \Delta L_s \neq \emptyset, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (18)$$

Правило выбора для n -го канала обнаружения m -го средства контролируемых участков состоит в следующем: 1-й участок контролируемого района считается выбранным, если суммарное время контроля данного участка и всех более приоритетных контролируемых участков не превышает минимального значения требуемой оперативности их контроля, т.е.

$$\sum_{l_0=1}^{L_0} t_{mnl_0} + t_{mnl} \leq \min_{1 \leq l_0 \leq L_0} \{t_{l_0}, t_l\}, \quad (19)$$

где L_0 — число контролируемых участков с приоритетом выше, чем у L -го участка ($L_0 \leq L-1$).

В качестве оптимизируемого показателя используется относительная суммарная «степень охвата» объектов и их контролируемых характеристик [14], взвешенная по их относительной важности и информативности их контролируемых характеристик в основных физических полях, вычисляемая с помощью выражения

$$\Phi(U, T_a) = \sum_{i=1}^N \beta_i \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \delta_{ijl}^{\gamma_{ij}}(T_a, U) \alpha_{ij} \quad (20)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} = 1 \text{ для } \forall i = \overline{1, N}, \quad (21)$$

$$\sum_{l=1}^L \delta_{ijl}^{\gamma_{ij}} \leq 1 \text{ для } \forall t \in [0, T_a], \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (22)$$

где β_i — степень важности i -го ОЗ [16]; $\{\gamma_{ij}\}$ — множество задач контроля для каждого i -го объекта

в каждом j -м районе; $\delta_{ij}^{yij}(T_a, U)$ — показатель степени выполнения задач контроля за анализируемый период времени $[0, T_a]$; U — план-график применения средств контроля, описываемый параметрами $T_k, \Delta\tau_k, L_k$.

Правила вычисления показателя степени выполнения задач контроля δ_{ij}^{yij} для любого момента времени $t \in [T_a]$ можно представить как СМО, определяющую различные режимы обслуживания объектов (контроль текущего диапазона частот). При этом режимы обслуживания объектов (контроль текущего диапазона частот) могут быть трёх типов и описываются:

1) детерминированными входными потоками на обслуживание с известными фиксированными моментами начала и окончания временных интервалов, в которых требуется непрерывное ведение контроля (режим $q = 1$);

2) случайными входными потоками требований с известными средними величинами периодичности и продолжительности временных интервалов, в которых требуется проведение контроля (режим $q = 2$);

3) детерминированными потоками временных интервалов, определяющих директивные сроки проведения контроля (режим $q = 3$).

С учётом этого для каждой из зон контроля применительно к различным вариантам решения задач контроля $\delta_{ij}^{yij}(T_a, U)$ различными типами средств определяется достигаемая степень охвата контролем объектов и задач контроля в заданных районах контроля

$$\delta_{ij}^{yij} = \begin{cases} 1 \text{ для } q = 1, 3 \text{ если на } i\text{-ом объекте в } j\text{-ом диапазоне частот} \\ \text{для } l\text{-го средства контроля выполняется условие} \\ [t_{ijl}^{Hyij}, t_{ijl}^{Kyij}] \in [t_{ij}^{Hyij}, t_{ij}^{Kyij}], \\ 0 \text{ для } q = 1, 3 \text{ в противном случае,} \\ \text{для } q = 1 [t_{ijl}^{Hyij}, t_{ijl}^{Kyij}] \cap [t_{ij}^{Hyij}, t_{ij}^{Kyij}] \leq v_{ijl}^{\min yij}, \\ \text{для } q = 3 t_{ijl}^{Hyij} \geq t_{ijl}^{Hyij}, t_{ijl}^{Kyij} > t_{ij}^{Kyij}, \\ \Delta t_{ijl}^{yij} / (t_{ijl}^{Kyij} - t_{ijl}^{Hyij}) \text{ для } q = 1 \text{ при } [t_{ijl}^{Hyij}, t_{ijl}^{Kyij}] \cap [t_{ij}^{Hyij}, t_{ij}^{Kyij}] \geq v_{ijl}^{\min yij}, \\ 1 - [1 - \mu_{ij}^{yij} \tau_{ij}^{yij} \exp(-v_{ijl}^{\min yij} / \theta_{ijl}^{yij})] \exp((\Delta t_{ijl}^{yij} - v_{ijl}^{\min yij}) / \theta_{ijl}^{yij}) \\ \text{для } q = 2 \text{ и } \Delta t_{ijl}^{yij} \geq v_{ijl}^{\min yij}, \end{cases} \quad (23)$$

где $t_{ij}^{Hyij}, t_{ij}^{Kyij}$ — моменты начала и окончания интервала, в котором требуется решение ij -ой задачи, при этом под задачей контроля понимается заданное требование на проведение контроля i -го ОЗ в j -м диапазоне частот (длин волн); $t_{ijl}^{Hyij}, t_{ijl}^{Kyij}$ — моменты начала и окончания временного интервала применения l -го средства КТК для решения ij -ой задачи контроля; $v_{ijl}^{\min yij}$ — минимально необходимое нормативное время решения ij -ой задачи контроля l -м средством контроля; $\tau_{ij}^{yij}, \mu_{ij}^{yij}, \theta_{ijl}^{yij}$ — средняя продолжительность, периодичность и пауза потоков требований по решению ij -ой задачи контроля соответственно; Δt_{ijl}^{yij} — временной интервал, в котором осуществляется применение l -го средства контроля для решения ij -ой задачи контроля.

Далее по вычисленным значениям достигаемой степени охвата проводится ранжирование вариантов решения задач контроля различными типами средств КТК в каждой из зон контроля.

Разработанное математическое обеспечение позволяет автоматизировать процесс планирования и распределение ресурса контроля по ОЗ. Примеры полученного специального программного обеспечения иллюстрируются рис. 4.

Таким образом, предложенный в данном исследовании математический инструмент и реализующие его процедуры для быстрой оценки возможностей радиолокационной видовой разведки с целью оптимального распределения сил и средств КТК по защищаемым объектам учитывают разнообразные требования по выполнению задач КТК (по диапазонам контролируемых частот и временным интервалам существования потребностей в контроле) ОЗ применительно к определяемым в ходе решения оптимизационной задачи целесообразным районам ведения контроля этих ОЗ в заданной группировке.

Математический инструмент даёт возможность определить процент охваченных контролем объектов от их общего числа, спрогнозировать требуемую длительность мониторинга и эффективно распределить имеющиеся ресурсы КТК. Автоматизирован процесс распределения сил и средств КТК с примени-

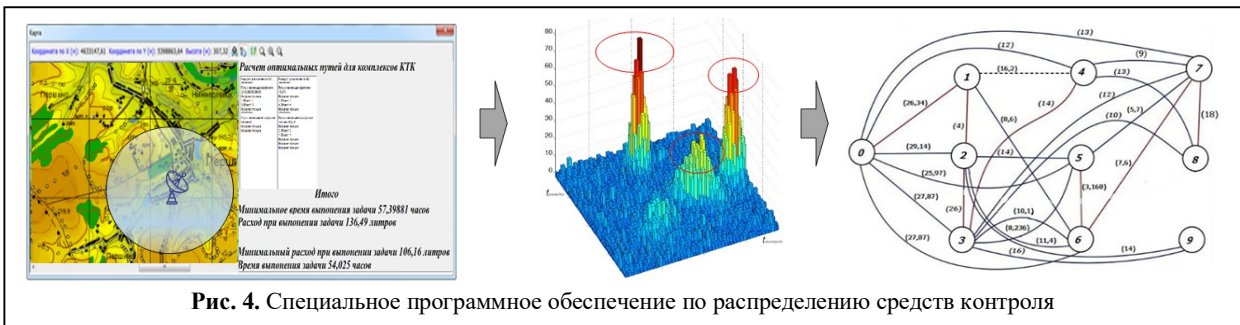


Рис. 4. Специальное программное обеспечение по распределению средств контроля

ем специализированного программного обеспечения для средств КТК.

Литература

1. Бражников А.Е., Меньшиков Ю.К. Иностранные разведки. Сегодня. М.: Медиа Группа «Авангард», 2015. 458 с.
2. Barton D.K. Radar System Analysis and Modeling. Boston-London: Artech House, 2005. 545 p.
3. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 675 с.
4. Шевцов В.А., Тимошенко А.В., Кныш М.В., Разиньков С.Н. Управление многопозиционной системой структурно-информационного мониторинга воздушного пространства // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2023. №1. С. 160–165.
5. Болкунов А.А., Рязанцев Л.Б., Сидоренко С.В. К вопросу оценки радиолокационной заметности вооружения, военной и специальной техники с применением беспилотных летательных аппаратов // Военная мысль. 2017. №9. С. 70–73.
6. Куприянов А.И., Петренко П.Б., Сычев М.П. Теоретические основы радиоэлектронной разведки: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 381 с.
7. Авиационные системы радиовидения. Монография / Под ред. Г.С. Кондратенкова. М.: Радиотехника, 2015. 648 с.
8. Куприяшкин И.Ф., Лихачев В.П. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех: монография. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. 460 с.
9. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Методика адаптивного распределения сил и средств комплексного технического

контроля по объектам защиты в различных физических полях разнесенного приема // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. №4. С. 15–22.

10. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем / Под ред. Е.В. Золотова. М: Радио и связь, 1974. 304 с.

11. Леньшин А.В., Кравцов Е.В., Сидоренко И.А. Математический аппарат оперативной оценки возможностей радио- и радиотехнической разведки в лесном массиве // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2023. №4. С. 72–78.

12. Леньшин А.В., Кравцов Е.В., Сидоренко И.А. Особенности оперативной оценки радиолокационной видовой заметности объектов комплексного технического контроля // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2025. №1. С. 5–12.

13. Куприяшкин И.Ф., Лихачев В.П., Рязанцев Л.Б. Малогабаритные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением. Монография. М.: Радиотехника, 2020. 280 с.

14. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Методика определения частоты и продолжительности контроля эффективности защиты информации на критически важных объектах // Телекоммуникации. 2021. №5. С. 30–34.

15. Теоретические и физические основы радиолокации и специального мониторинга: учебник / А.Н. Фомин, В.Н. Тяпкин, Д.Д. Дмитриев и др.; под общ. ред. И.Н. Ищука. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 292 с.

16. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Метод рационального распределения разнородного ресурса радиоэлектронной системы защиты охраняемых сведений объектов комплексного технического контроля // Телекоммуникации. 2021. №12. С. 31–38.

Поступила 8 октября 2025 г.

English

THE USE OF SOFTWARE FOR THE OPERATIONAL ASSESSMENT OF RADAR RECONNAISSANCE CAPABILITIES WHILE OPTIMIZING THE DISTRIBUTION OF CONTROLS

Andrey Valentinovich Lenshin — Grand Dr. in Engineering, Professor, Department of Aviation Electronic Systems, Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”¹.

Alexander Anatolyevich Bolkunov — PhD. in Engineering, Associate Professor, the Head of the Systems Research and Development Center² (branch) JSC “STC EW”.

Ivan Andreevich Sidorenko — PhD. in Engineering, Lecturer, Department of Counteraction to Technical Reconnaissance Means, Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”¹.

¹Address: 394064, Russian Federation, Voronezh, Starykh Bolshevikov str., 54a.

²Address: 394038, Russian Federation, Voronezh, Konstruktorov str., 31a.

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Abstract: The analysis of the capabilities of foreign technical intelligence services indicates the continuous improvement and capacity building of the intelligence structures of the leading world powers. An important role, due to its advantages, is assigned to the means of radar specific reconnaissance (RSR), installed on both manned and unmanned aerial vehicles. The quantity and quality of information provided by the RSR media on images of terrain and objects on it determine the effectiveness of the use of weapons, precision weapons and electronic warfare. Measures to counter RSR funds aimed at reducing the effectiveness of data collection require time and resources. It is important to determine the optimal level of counteraction to RSR funds, ensuring that the task is solved with minimal cost and maximum effectiveness. There is a need to regularly assess the intelligence availability of protection facilities (OP) and take the necessary measures to protect them. An effective approach to solving this problem is to use mathematical models and algorithms to quickly assess the capabilities of RSR tools that can predict possible enemy actions, which contributes to making more informed decisions on OP protection. Effective counteraction to intelligence operations requires an integrated approach that includes both a comprehensive analysis of intelligence availability and the use of available forces and means. The aim of the work

is to develop a mathematical apparatus that makes it possible to quickly assess the capabilities of RSR, taking into account the distribution of forces and means of integrated technical control (CTC) by OP, for specialized software of CTC facilities. The mathematical tools proposed in this paper and the procedures implementing them for quickly assessing the capabilities of RSR in order to optimally distribute the forces and resources of the CTC across protected facilities make it possible to determine the percentage of facilities covered by monitoring, predict the required duration of monitoring and effectively allocate the available resources of the CTC. Practical testing of the proposed mathematical tools has confirmed its viability.

Keywords: radar specific reconnaissance, integrated technical control, distribution of forces and controls, software.

References

1. *Brazhnikov A.Ye., Menshakov Yu.K.* Foreign intelligence services. Today. Moscow: Avangard Media Group, 2015. 458 p.
2. *Barton D.K.* Radar System Analysis and Modeling. Boston-London: Artech House, 2005. 545 p.
3. *Verba V.S., Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk V.E.* Spacebased radar survey systems. Moscow: Radiotekhnika, 2010. 675 p.
4. *Shevtsov V.A., Timoshenko A.V., Knysh M.V., Razinkov S.N.* Management of a multi-position system of structural information monitoring of airspace. News of higher educational institutions. Aviation equipment. 2023. No. 1. Pp. 160–165.
5. *Bolkunov A.A., Ryazantsev L.B., Sidorenko S.V.* On the issue of assessing the radar visibility of weapons, military and special equipment using unmanned aerial vehicles. Military thought. 2017. No. 9. Pp. 70–73.
6. *Kupriyanov A.I., Petrenko P.B., Sychev M.P.* Theoretical foundations of electronic intelligence: a textbook. Moscow: Publishing House of the Moscow State Technical University E.N. Bauman, 2010. 381 p.
7. Aviation radiovision systems. Monograph. Edited by *G.S. Kondratenkov*. Moscow: Radiotekhnika, 2015. 648 p.
8. *Kupryashkin I.F., Likhachev V.P.* Space radar survey of the Earth's surface under interference conditions: monograph. Voronezh: CPI «Scientific Book», 2014. 460 p.
9. *Lenshin A.V., Kravtsov E.V.* Methodology of adaptive distribution of forces and means of integrated technical control over protection facilities in various physical fields of spaced reception. Radio engineering and telecommunication systems. 2020. No. 4. Pp. 15–22.
10. *Berzin E.A.* Optimal resource allocation and elements of system synthesis. Ed. by E.V. Zolotov. Moscow: Radio i svyaz', 1974. 304 p.
11. *Lenshin A.V., Kravtsov E.V., Sidorenko I.A.* Mathematical apparatus for the operational assessment of radio and radio engineering intelligence capabilities in the forest area. Radio engineering and telecommunication systems. 2023. No. 4. Pp. 72–78.
12. *Lenshin A.V., Kravtsov E.V., Sidorenko I.A.* Features of operational assessment of radar visibility of objects of complex technical control. Radio engineering and telecommunication systems. 2025. No. 1. Pp. 5–12.
13. *Kupryashkin I.F., Likhachev V.P., Ryazantsev L.B.* Small-sized radars with continuous frequency-modulated radiation. Monograph. M.: Radio Engineering, 2020. 280 p.
14. *Lenshin A.V., Kravtsov E.V.* Methodology for determining the frequency and duration of monitoring the effectiveness of information protection at critical facilities. Telecommunications. 2021. No. 5. Pp. 30–34.
15. Theoretical and physical foundations of radar and special monitoring: textbook. *A.N. Fomin, V.N. Tyapkin, D.D. Dmitriev* and others; under the general editorship of *I.N. Ishchuk*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2016. 292 p.
16. *Lenshin A.V., Kravtsov E.V.* Method of rational distribution of a heterogeneous resource of a radioelectronic system for the protection of protected information of integrated technical control facilities. Telecommunications. 2021. No. 12. Pp. 31–38.