

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ И КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

к.т.н. Г.Г. Камалтынов, к.т.н. А.Н. Колесник,
к.т.н. М.В. Бейлин, Д.Ю. Свистунов
(представил д.т.н., проф. В.Н. Манжос)

На основе анализа существующих подходов предложен критерий эффективности для выбора варианта размещения на местности радиолокационных средств системы разведки и контроля воздушного пространства, функционирующих в реальном времени.

Постановка проблемы. Современная концепция применения сил быстрого реагирования при проведении миротворческих операций или в начальный период вооруженного конфликта требует оперативного развертывания обеспечивающих сил и средств. К средствам обеспечения боевых действий сил быстрого реагирования, в частности, относятся средства радиолокации оперативно развертываемой системы разведки и контроля воздушного пространства (РКВП), которые должны выдавать радиолокационную информацию в реальном времени.

Планирование оперативного развертывания системы разведки и контроля воздушного пространства включает в себя решение задачи обоснованного выбора позиций средств радиолокации системы РКВП с целью обеспечения максимальной реализации их боевых возможностей, транспортной доступности выбираемых позиций, требуемой удаленности позиций средств РКВП от населенных пунктов, лесных массивов, линий электропередачи и т.д.

Максимальная реализация боевых возможностей радиолокационных средств системы РКВП при осуществлении оперативного развертывания является наиболее сложной задачей. Для выбора позиции радиолокационного подразделения в настоящее время применяется неавтоматизированная методика [1]. Использование существующей неавтоматизированной методики для оперативного выбора позиций радиолокационных станций развертываемой системы РКВП может приводить к ситуациям, когда выделенного времени недостаточно для принятия обоснованного решения.

Анализ литературы. Рассмотрим существующие подходы к оценке эффективности системы РКВП. В работах [2, 4] предложены четыре ос-

новных подхода к оценке эффективности: по величине предотвращенного ущерба; по величине вклада в эффективность вышестоящей системы; по одному основному (обобщенному) показателю; по совокупности показателей качества.

При первом подходе, как правило, используются показатели стоимости сохраненных материальных средств, а при втором подходе показатели огневых возможностей системы ПВО, которые не позволяют точно оценить влияние выбранного варианта размещения на местности средств радиолокации на эффективность системы ПВО в целом.

В ряде работ, посвященных оценке эффективности радиолокационных систем и отдельных РЛС, предлагается использовать критерий максимума количества выдаваемой потребителю радиолокационной информации, которое является мерой уменьшения априорной энтропии характеристик положения воздушных целей в пределах зоны ответственности группировки при обслуживании ее средствами радиолокации, что соответствует третьему подходу к выбору критерия эффективности [5]. Такой критерий зависит от параметров воздушного налета и практически не связан с пространственными показателями системы РКВП.

Четвертый подход предполагает выбор критерия эффективности в виде весовой функции от показателей качества системы. Наиболее широкое распространение для формирования весовой функции получили методы экспертных оценок [6].

При таком подходе в качестве критерия эффективности используют значение интегрального показателя результативности, представляющего собой функционал от набора частных показателей качества системы, каждый из которых характеризует определенное свойство системы при решении поставленной задачи. Для системы РКВП, как правило, выбирают следующие частные показатели, характеризующие качество радиолокационной информации: коэффициент проводки; коэффициент ложных трасс; время существования ложных трасс; среднеквадратические ошибки измерения координат и т.п.

При формировании интегрального показателя результативности может использоваться свертка вероятностей успешного выполнения частных задач по радиолокационному обеспечению потребителя радиолокационной информации. Такому подходу в ряде случаев соответствует выбор в качестве критерия эффективности системы РКВП максимума математического ожидания числа целей, информация о которых может быть выдана до заданного рубежа с установленным качеством. Значение полученного таким образом показателя зависит от числа участвующих в налете целей и характера налета (высот полета, направления движения целей и помеховой

обстановки), что при отсутствии модели налета не позволяет однозначно сравнивать варианты размещения радиолокационных средств.

Недостаток четвертого подхода заключается в том, что при изменении условий функционирования системы РКВП могут изменяться значения частных показателей, характеризующих результативность функционирования, что требует проводить перерасчет интегрального показателя. В противном случае интегральный показатель становится неадекватен изменившимся условиям. Несмотря на указанный недостаток, четвертый подход представляется наиболее удобным для проведения сравнения вариантов размещения на местности средств радиолокации системы РКВП. Такой подход обеспечивает простоту представления интегрального показателя и позволяет использовать для оценки эффективности известные показатели боевых возможностей, характеризующие результативность системы РКВП при решении задачи обеспечения потребителей радиолокационной информацией.

Цель статьи. Современный уровень развития вычислительной техники и цифровых карт местности позволяет обеспечить автоматизированный выбор позиций РЛС и сократить время принятия решения. Для автоматизации процесса выбора позиций необходимо разработать методический аппарат, позволяющий оценивать эффективность различных вариантов размещения на местности средств радиолокации, входящих в систему разведки и контроля воздушного пространства.

Под эффективностью средств радиолокации системы РКВП будем понимать степень реализации их боевых возможностей по выдаче радиолокационной информации с заданным качеством при решении поставленной задачи [2, 3]. Для оценки эффективности системы разведки и контроля воздушного пространства формируют критерий эффективности и показатели качества, характеризующие результативность и устойчивость функционирования системы.

Показатели результативности системы разведки и контроля воздушного пространства включают показатели боевых возможностей системы, которые характеризуют [2, 3]:

- пространственные параметры создаваемого системой радиолокационного поля (РЛП);
- полноту отображения воздушной обстановки (производительность и пропускную способность системы РКВП);
- качество радиолокационной информации (временные и точностные характеристики сопровождения трасс целей);
- достоверность радиолокационной информации (количество лож-

ных трасс целей и характеристики опознавания и распознавания классов (типов) целей).

К группе показателей устойчивости системы РКВП относятся показатели надежности, живучести, помехоустойчивости, скрытности.

На основе показателей качества формируется критерий эффективности, который должен обеспечивать оценку выполнения системой поставленной задачи, иметь ясный физический смысл и быть чувствительным к изменениям параметров внешней среды и структуры системы [3].

Обоснование перечня показателей и критерия эффективности. Выберем в качестве основного показателя результативности системы РКВП коэффициент реализации пространственных боевых возможностей – $K_{рпв}$. Известные показатели боевых возможностей системы РКВП (точность отображения трасс, количество ложных трасс, пропускная способность системы, время существования ложных трасс и т.д.) практически не зависят от пространственного размещения средств системы РКВП, а определяются характеристиками самих средств, системы автоматизации, управления и связи, а также параметрами налета СВН и являются вероятностными характеристиками системы.

Показатели устойчивости функционирования системы РКВП не будем учитывать при проведении сравнительной оценки вариантов размещения на местности РЛС, входящих в систему РКВП.

В наиболее общем виде показатель $K_{рпв}$ может быть представлен в виде отношения объема воздушного пространства, в пределах которого реализуется выдача потребителю РЛИ с заданным качеством, к требуемому объему воздушного пространства, в пределах которого должна обеспечиваться выдача потребителю РЛИ заданного качества. На практике вместо расчета объема воздушного пространства принято пользоваться набором сечений радиолокационного поля на заданных высотах. Для заданного сечения, создаваемого системой РКВП радиолокационного поля (РЛП), и требуемых рубежей выдачи РЛИ коэффициент $K_{рпв}$ может быть рассчитан из соотношения

$$K_{рпв}^{H_{ц}} = \frac{S_{рлп}(H_{ц})}{S_{тр}(H_{ц})}, \quad (1)$$

где $S_{рлп}(H_{ц})$ – площадь сечения РЛП на заданной высоте; $S_{тр}(H_{ц})$ – площадь сечения требуемого РЛП на той же высоте, которая определяется размерами зоны ответственности системы РКВП или ограничивается заданными рубежами выдачи РЛИ. Требуемые параметры РЛП, как правило, задаются из условия максимальной реализации пространственных боевых возможностей системы разведки и контроля воздушного пространства.

Предложенный коэффициент $K_{рпв}$ характеризует степень реализации пространственных боевых возможностей системы РКВП при выбранном варианте размещения на местности средств радиолокации, имеет ясный физический смысл, нормирован, легко рассчитывается и учитывает пространственный характер функционирования системы РКВП.

Как правило, система РКВП должна функционировать при различных внешних условиях, воздействие которых определяет состояние системы и содержание типовых задач, решаемых системой в этих условиях. Поэтому для обеспечения корректного сравнения вариантов размещения на местности средств РЛР не следует ограничиваться рассмотрением одной задачи, решаемой системой РКВП. Для этого необходимо сформулировать набор типовых задач (возможных вариантов ведения радиолокационной разведки и выдачи радиолокационной информации) и провести расчет соответствующих значений коэффициента $K_{рпв}$ для каждой задачи. При таком подходе оценка эффективности создаваемой системы РКВП будет проводиться по интегральному показателю результативности, который будет характеризовать эффективность варианта размещения на местности радиолокационных средств системы РКВП для набора типовых задач, решаемых системой.

Наибольшую сложность при таком подходе представляет определение весов важности типовых задач и вида функционала интегрального показателя.

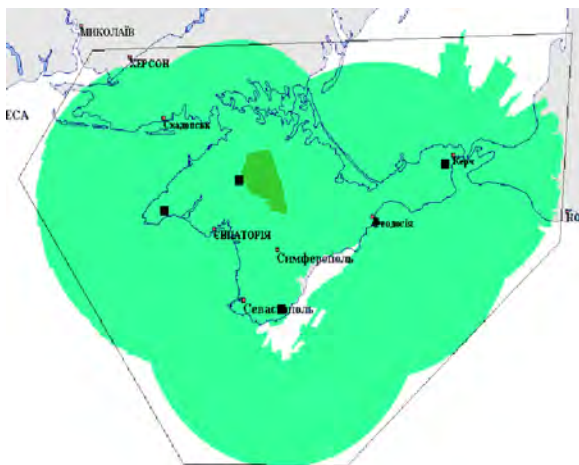


Рис. 1. Пример решения системой РКВП задачи 1 определяются размерами зоны ответственности системы РКВП (сплошные линии на рис. 1);

В качестве типовых задач системы РКВП в самом простом случае могут быть:

- 1) осуществление разведки и контроля порядка использования воздушного пространства в мирное время стационарной группировкой средств системы РКВП. Требуемые границы, в пределах которых осуществляется контроль порядка использования воздушного пространства,

2) осуществление разведки воздушных целей для получения боевой радиолокационной информации до заданных рубежей выдачи информации в интересах обеспечиваемых сил ПВО (рис. 2);

3) осуществление разведки воздушных целей для получения разведывательной радиолокационной информации до заданных рубежей выдачи разведывательной информации;

4) создание полос предупреждения о пролете крылатых ракет во втором эшелоне построения системы РЛР;

5) обеспечение выноса рубежа обнаружения воздушных целей от государственной границы на сопредельную территорию на заданном удалении.

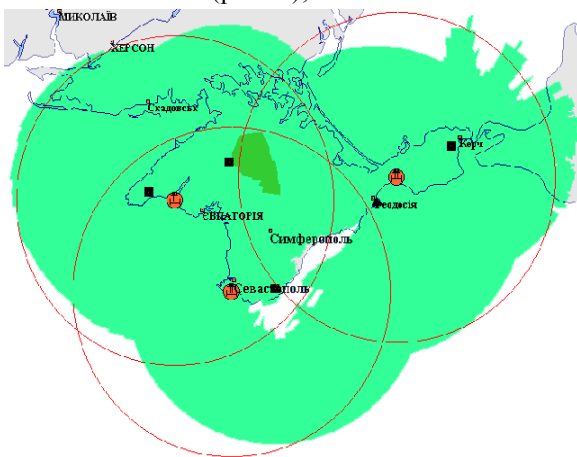


Рис. 2. Пример решения системой РКВП задачи 2

При размещении средств радиолокации системы РКВП вблизи государственных границ важно обеспечивать требуемые рубежи выдачи РЛИ. Другие параметры РЛП (коэффициент перекрытия, непрерывность РЛП на заданных высотах и т.д.) могут обеспечиваться за счет подразделений второй полосы (внутренних регионов страны). При этом коэффициент реализации пространственных боевых возможностей может быть представлен как отношение реализуемой (обеспечиваемой) на заданном направлении и заданной высоте $H_{ц}$ дальности рубежа выдачи РЛИ $D_{роб}$ к требуемой дальности выноса рубежа выдачи РЛИ $D_{ртр}$:

$$K_{рпв}^{H_{ц}} = \frac{D_{роб}^{H_{ц}}}{D_{ртр}^{H_{ц}}}; \quad \text{если } D_{роб} > D_{ртр}, \text{ то } K_{рпв}^{H_{ц}} = 1. \quad (2)$$

Таким образом, значение интегрального показателя результативности, характеризующее эффективность выбранного варианта размещения на местности группировки радиолокационных средств системы РКВП, будет определяться набором типовых задач, решаемых системой.

Вид функционала при построении интегрального показателя должен удовлетворять некоторым условиям: при равенстве нулю значения $K_{рпв}$ в одной из выбранных типовых задач значение интегрального показателя

должно быть равно нулю; малое значение $K_{рпв}$ в одной из выбранных типовых задач не должно быть определяющим при оценке интегрального показателя эффективности системы РКВП в целом. Таким взаимоисключающим условиям не соответствуют широко известные мультипликативная и аддитивная форма представления функционала для интегрального показателя.

Такие условия требуют нового подхода к выбору вида функционала для интегрального показателя системы РКВП. Наиболее приемлемым в этом случае является аппарат теории нечетких множеств [7].

В случае, если показатели качества в функционале интегрального показателя результативности системы имеют близкий смысл и связь между собой, то вычисление функционала может быть выполнено по формуле [7]:

$$H[A_1, A_2, \dots, A_n] = -\log_2 [1 - (1 - 2^{-[A_1]}) (1 - 2^{-[A_2]}) \dots (1 - 2^{-[A_n]})]. \quad (3)$$

При этом функционал интегрального показателя является нормированным и возрастающим. Если хотя бы один из показателей качества в (3), например A_j , будет равен нулю, то все выражение (3) обращается в нуль.

На основе выражения (3) получено выражение для функционала интегрального показателя результативности системы РКВП:

$$Q = \log_2 \left[1 + (-1)^m \prod_{i=1}^m \left(1 - 2^{K_{рпв_i}^{p_i}} \right) \right], \quad (4)$$

где p_i – вес (важность) возникновения i -ой типовой задачи для создаваемой системы РКВП, причем $\sum_{i=1}^m p_i = 1$, $i = (1 \dots m)$; m – число рассматриваемых типовых задач, решаемых системой; $K_{рпв_i}$ – значение коэффициента реализации пространственных боевых возможностей для i -ой типовой задачи, решаемой системой РКВП; Q – значение интегрального показателя результативности системы РКВП.

Как правило, система РКВП развертывается для решения нескольких задач одновременно. Будем полагать важность решаемых типовых задач одинаковой.

Рассчитаем, в качестве примера, значения коэффициента реализации пространственных боевых возможностей и значение интегрального показателя для двух вариантов размещения группировки. Пример размещения группировки для первого варианта представлен на рис. 1 и 2, а для второго варианта на рис. 3 и 4 соответственно.

Рис. 1 и 3 иллюстрируют случай решения системой РКВП задачи разведки и контроля за порядком использования воздушного пространства в пределах зоны ответственности системы (первая задача). Границы

зоны ответственности системы обозначены сплошными линиями. Коэффициенты реализации пространственных боевых возможностей для вариантов группировки рис. 1 и 3 соответственно равны 0,87 и 0,83.

Рис. 2 и 4 иллюстрируют случай привлечения системы разведки и контроля воздушного пространства для решения второй типовой задачи (разведка воздушных целей и выдачи боевой информации в пределах заданных рубежей в интересах обеспечиваемых сил ЗРВ). Коэффициенты реализации пространственных боевых возможностей для вариантов группировки рис. 2 и 4 соответственно равны 0,9 и 0,85.

Расчет показал, что для первого варианта размещения радиолокационных средств системы разведки и контроля воздушного пространства (рис. 1, 3) значение интегрального показателя будет равно $Q = 0,874$, а для второго варианта (рис. 2, 4) значение интегрального показателя $Q = 0,848$. Соответственно первый вариант размещения средств радиолокации системы РКВП более предпочтителен.

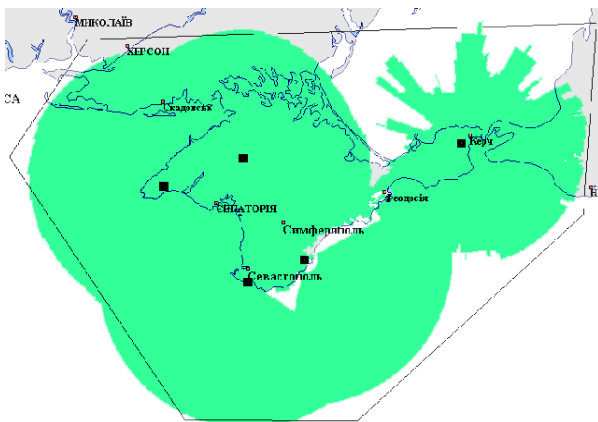


Рис. 3. Решение системой РКВП задачи 1 при втором варианте размещения средств

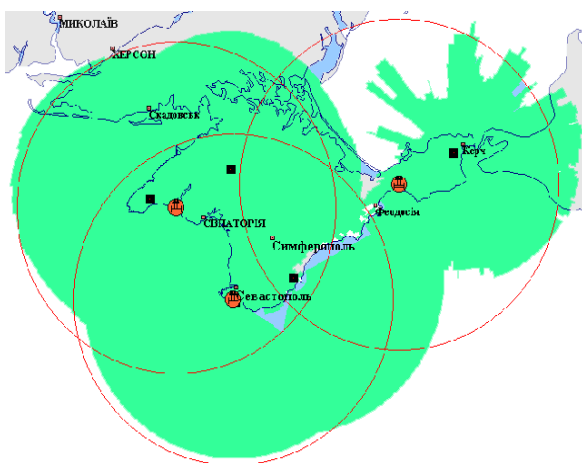


Рис. 4. Решение системой РКВП задачи 2 при втором варианте размещения средств

Выводы. Таким образом, предложенный в статье показатель пространственных боевых возможностей позволяет учитывать пространственный характер функционирования системы РКВП, имеет ясный физический смысл и не зависит от параметров воздушного налета СВН. Разработанный на его основе интегральный показатель результативности функционирования системы РКВП может использоваться в качестве критерия эффективности для сравнения вариантов размещения на местности средств радиолокации, входящих в систему РКВП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания РТВ ПВО по выбору позиции радиотехнического подразделения. – М.: Военное издательство МО СССР, 1982. – 80 с.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 243 с.
3. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Сов. радио, 1971. – 324 с.
4. Чумаков Н.М., Серебряний Г.И. Оценка эффективности сложных технических устройств. – М.: Сов. радио, 1986. – 457 с.
5. Леценко С.П. Информационный показатель качества систем радиолокационного распознавания // М.: Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – № 11. – С. 64 – 66.
6. Бешелев С.Д. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 387 с.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Недра, 1982. – 235 с.

Поступила 26.02.2003

КАМАЛТЫНОВ Геннадий Григорьевич, кандидат технических наук, СИС, начальник научно-исследовательского управления научного центра при ХВУ. В 1982 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – совершенствование способов применения радиотехнических систем вооружения, создание и использование цифровых карт местности, геоинформационные технологии.

КОЛЕСНИК Александр Николаевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела научного центра при ХВУ. В 1993 году окончил Воронежское ВВИУРЭ. Область научных интересов – совершенствование применения радиотехнических систем.

БЕЙЛИН Михаил Валериевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела научного центра при ХВУ. Окончил ХВУ в 1995 году. Область научных интересов – военно-экономический анализ существующих и перспективных систем вооружения.

СВИСТУНОВ Дмитрий Юрьевич, адъюнкт научного центра при ХВУ. В 1995 году окончил ХВУ по программе ВИРТА ПВО. Область научных интересов – совершенствование применения радиотехнических систем, геоинформационные технологии.