

О ВЫБОРЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПВО СУХОПУТНЫХ ВОЙСК

к.в.н. Н.П. Деменко, к.в.н. А.В. Кулешов, к.т.н. Ю.П. Перекосов
(представил д.т.н., проф. Е.Л. Казаков)

В статье рассматривается методический подход к определению и выбору показателей оценки системы управления огнем подразделений ПВО СВ и предлагается система показателей, позволяющая оценить эффективность отражения налета СВН и влияние составных частей системы на ее эффективность.

Постановка проблемы. Системы управления огнем подразделений ПВО Сухопутных войск (ПВО СВ) по функциональному признаку относятся к классу систем управления боевыми средствами, а по структуре представляют собой информационно-управляющие системы. В иерархии систем управления войсками ПВО СВ они занимают нижний уровень и решает главную задачу управления подразделениями ПВО при подготовке и в ходе боевых действий.

Потребности в оценке систем управления возникает всегда, когда необходимо определить ее оптимальную структуру для обеспечения максимальной эффективности боевых действий сил и средств ПВО в предполагаемых условиях боевых действий прикрываемых войск.

Центральное место в методиках оценки любых систем, в том числе и систем управления огнем подразделений ПВО СВ, занимает этап, связанный с определением и выбором показателей оценки, поскольку их правильный выбор позволяет обеспечить полную и всестороннюю оценку характеристик систем.

Актуальность проблемы рационального выбора показателей оценки системы управления определяется не только той ролью, какую они играют в методиках оценки, но прежде всего необходимостью решать эту задачу при определении их оптимальных структур в условиях реформирования ВС Украины с учетом новой геополитической обстановки [1].

Анализ последних исследований и публикаций. В ряде работ и публикаций [2, 3], в том числе и в публикациях авторов [4 – 6], рассмотрены некоторые аспекты указанной проблемы в постановочном плане, поскольку в них решались прикладные задачи, связанные с использова-

нием показателей эффективности либо при определении методического подхода к оценке систем ПВО, либо для выбора варианта рационального размещения на местности сил и средств ПВО СВ.

Формулирование целей статьи. Цель статьи состоит в рассмотрении обобщенных результатов исследований, проведенных ранее авторами, и основных положений связанных с определением и выбором системы показателей оценки системы управления огнем подразделений ПВО СВ.

Изложение основного материала. Основу решения сформулированной проблемы составляют принципы системного подхода, выводы теории исследования операций и положения общей теории управления войсками [2, 3]. В соответствии с системным подходом система управления огнем подразделений ПВО СВ, как информационно-управляющая система, представляется тремя взаимосвязанными подсистемами: информационной, построенной на базе РЛС старшего начальника и собственных РЛС; управляющей, которая включает субъекта управления, средства автоматизации и связи; подсистемой огневых средств, представленной боевыми машинами. В таких системах результаты функционирования подсистем определяют их эффективность, а величина "вклада" каждой подсистемы в общую эффективность определяется ее свойствами. Очевидно, что полная и всесторонняя оценка системы управления огнем подразделений ПВО СВ может быть достигнута на основе системы показателей, которая должна представлять собой совокупность общих и частных показателей. При этом, общие (интегральные) показатели должны обеспечивать оценку эффективности функционирования системы в целом, а частные показатели – оценку ее составных частей и влияния отдельных, наиболее существенных, параметров системы на ее эффективность.

Методический подход к выбору показателей оценки системы. В соответствии с системным подходом и на основе положений общей теории систем любую организованную систему можно описать уравнениями вида:

$$Z = F(Y); \quad Y = V(X, Y, U),$$

где F – функционал, определяющий связь целевой функции с вектором состояний; Y – вектор выходных параметров системы; V – вектор состояний системы; X – вектор параметров внешней среды; U – вектор управляющих воздействий.

Известно [2, 3], что эффективность любой операции характеризует уровень достижения поставленных целей в операции, а показатели эффективности позволяют дать количественную оценку достижения этого уровня. Рассматривая процесс функционирования системы произвольной природы как некоторую операцию, ее показатель эффективности можно представить в виде отношения

$$\Theta_0 = \frac{Z^*}{Z},$$

где Z^* – достигнутое значение целевой функции; Z – заданное значение целевой функции.

Достижение требуемого уровня эффективности всегда связано с определенными затратами материальных, временных и людских ресурсов. Поэтому при решении задач поиска оптимальных структур системы и способов ее применения необходимо учитывать ограничения вида:

$$R(C, T, L) \leq R_3(C, T, L),$$

где $R(R_3)$ – расходуемые (заданные) материальные (C), временные (T) и людские ресурсы (L).

Эффективность боевых действий частей и подразделений ПВО обычно оценивают либо величиной предотвращенного ущерба прикрываемым объектам, либо числом уничтоженных (пораженных) целей.

В первом случае показатель эффективности представляет собой соотношение вида [4]:

$$\Theta_u = 1 - \frac{W^*}{W},$$

а втором случае эффективность боевых действий оценивают отношением [4, 6]:

$$\Theta_y = \frac{N_y}{N},$$

где W^* – ущерб, наносимый объекту при наличии ПВО; W – ущерб, наносимый объекту при отсутствии ПВО; N_y – число уничтоженных целей; N – число целей в зоне действия группировки ПВО.

Показатели вида (Θ_y) позволяют достаточно просто оценить эффективность составных частей, если известна величина снижения уровня эффективности, выраженные числом пропущенных (необстрелянных) целей из соотношений:

$$\Theta_l = (1 - \Delta\Theta_{nl}); \quad \Delta\Theta_{nl} = \frac{\Delta N_{npl}}{N},$$

где N_{npl} – число пропущенных (необстрелянных) целей; $\Delta\Theta_{nl}$ – величина снижения уровня эффективности за счет недостатков 1-й составной части системы; ΔN_{npl} – число пропущенных целей за счет недостатков 1-й составной части системы.

Значения указанных величин, как правило, определяются по результатам анализа и оценки проведенных экспериментов.

Показатели эффективности системы. Приведенные выше показатели, ориентированные на вычисление числа уничтоженных целей, не полностью отражают целевое назначение и характер решаемых задач оцениваемой системой, поскольку входящие в нее огневые средства составляют основу зенитного ракетно-артиллерийского прикрытия войск и объектов в общевойсковом бою. Поэтому при определении показателя эффективности зенитного прикрытия необходимо учитывать не только число уничтоженных целей, но и число целей, которые не уничтожены, но в результате их обстрела вышли из зоны огня, не выполнив своей задачи. С учетом этого показатель эффективности системы управления огнем подразделений ПВО СВ целесообразно представить отношением:

$$\Theta_{y_0} = \frac{N_{y_0}}{N_{ц} + N_{л}},$$

где N_{y_0} – число успешно обстрелянных целей при отражении ударов воздушного противника; $N_{ц}$ – число истинных целей, находящихся в зоне действия подразделений ПВО СВ; $N_{л}$ – число целей-ловушек.

При наличии в РЛС аппаратуры распознавания классов целей число целей-ловушек $N_{л}$ будет уменьшаться.

Величина N_{y_0} определяется суммой:

$$N_{y_0} = (M_y + M_{нз}^*),$$

где M_y – математическое ожидание числа уничтоженных целей; $M_{нз}^*$ – среднее число целей, которые совершив маневр против огня, не выполнили свою задачу.

Составляющие в приведенной выше формуле можно представить соотношениями [5, 6]:

$$M_y = K_{ио} K_y \sum_{s=1}^{K_s} M_{y_s}; \quad M_{нз}^* = \sum_{s=1}^{K_s} (N_{обс.s} - M_{y_s}) P_{вых.s},$$

где $K_{ио}$ – коэффициент, определяющий эффективность информационного обеспечения группировки ПВО; K_y – коэффициент, определяющий эффективность управления огнем зенитных подразделений; M_{y_s} – математическое ожидание числа уничтоженных целей огневыми средствами s -го типа; K_s – число огневых средств s -го типа; $N_{обс.s}$ – число стрельб, проведенных огневыми средствами s -го типа; $P_{вых.s}$ – вероятность выхода целей из зоны поражения(огня) огневых средств s -го типа.

Показатели оценки информационной подсистемы. Величину $K_{\text{ио}}$ можно выразить отношением вида:

$$K_{\text{ио}} = \frac{N_{\text{св}}}{N_{\text{зд}}},$$

где $N_{\text{св}}$ – число своевременно выданных на управление целей с требуемым качеством информации; $N_{\text{зд}}$ – число целей, находящихся в боевых действиях подразделения ПВО СВ.

Величину $N_{\text{св}}$ можно представить выражением:

$$N_{\text{св}} = P_{\text{дтр}} K(\sigma) K_{\text{пр}}(t) F(K_{\text{цо}}) \sum_{j=1}^{N_{\text{зд}}} Q_j P_{\text{сж}} K_j(\Delta t_3),$$

где $P_{\text{дтр}}$ – вероятность того, что выданная трасса является действительной; $K(\sigma)$ – коэффициент, учитывающий уровень ошибок радиолокационной информации; $K_{\text{пр}}(t)$ – коэффициент проводки целей в системе разведки подразделения ПВО; $F(K_{\text{цо}})$ – функция, определяющая требуемое число циклов обновления информации для обнаружения целей огневыми средствами с заданной вероятностью; Q_j – параметр, учитывающий положение цели в зоне видимости системы разведки; $P_{\text{сж}}$ – вероятность сопровождения цели в системе разведки; $K_j(\Delta t_3)$ – коэффициент запаздывания выдачи информации на пункт управления подразделения ПВО.

Приведенные выше составляющие можно выразить через оцениваемые параметры следующими соотношениями:

$$P_{\text{дтр}} = 1 - \frac{N_{\text{лтр}}}{N_{\text{лтр}} + N_{\text{дтр}}},$$

где $N_{\text{лтр}}(N_{\text{дтр}})$ – число ложных (действительных) трасс на входе пунктов управления подразделения ПВО:

$$K(\sigma) = \begin{cases} 1, & \text{если } \delta \geq 1; \\ \delta, & \text{если } \delta < 1; \end{cases} \quad \delta = \sum_{\gamma=1}^{\Gamma_{\gamma}} \frac{\sigma_{\gamma\text{зад}}^2}{\sigma_{\gamma\Gamma}^2},$$

где δ – мера снижения точности радиолокационной информации; $\sigma_{\gamma\text{зад}}^2$ – заданная дисперсия радиолокационной информации; $\sigma_{\gamma\Gamma}^2$ – текущая дисперсия ошибок радиолокационной информации; γ – тип координаты ($\gamma = [X, Y, H]$ или $\gamma = [R, B, E]$); Γ_{γ} – число оцениваемых координат.

Коэффициент проводки целей $K_{пр}(t)$ можно оценить отношением:

$$K_{пр}(t) = \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{пр}},$$

где Δt_c – среднее время сопровождения целей в системе разведки; $\Delta t_{пр}$ – среднее время пребывания целей в зоне разведки.

Функция $F(K_{ц0})$ представляется соотношениями:

$$F(K_{ц0}) = P_o + K_o(P_{o\max} - P_o); \quad K_o = \frac{(K_{ц0} - 1)}{(K_{ц0\max} - 1)}; \quad K_{ц0} = \frac{\Delta t_{нс}}{T_{вц}},$$

где P_o – вероятность безоискового обнаружения цели по данным целеуказания при заданных ошибках радиолокационной информации; $P_{o\max}$ – вероятность обнаружения цели при максимальной длительности поиска; $K_{ц0\max}$ – максимальное число циклов обновления информации при выдаче данных целеуказания; $T_{вц}$ – временной цикл обновления данных целеуказания.

$$Q_j = \begin{cases} 0, & \text{если } D_j > D_o; \\ 1, & \text{если } D_j \leq D_o, \end{cases}$$

где D_j – текущая дальность до цели; D_o – дальность до внешней границы зоны видимости системы разведки.

$$P_{cj} = 1 - \prod_{l=1}^L (1 - P_{cjl}),$$

где P_{cjl} – вероятность сопровождения j -й цели l -м источником РЛИ; L – число РЛС, образующих зону разведки.

$$K_j(\Delta t_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } S_{Bj} < S_{B\min}; \\ 1, & \text{если } S_{Bj} \geq S_{B\max}; \\ \frac{\Delta S_{Bj}}{\Delta S_{B\max}}, & \text{если } S_{B\min} < S_{Bj} < S_{B\max}, \end{cases}$$

где S_{Bj} – удаление рубежа выдачи информации по j -й цели от стартовой позиции подразделения ПВО; ΔS_{Bj} – глубина выдачи информации по j -й цели; $\Delta S_{B\max(\min)}$ – максимальная (минимальная) глубина выдачи информации; $N_{зд}$ – число целей, находящихся в зоне боевых действий подразделения ПВО СВ.

Показатели оценки управляющей подсистемы. В условиях применения противником высокоточного оружия и средств радиоэлектронного подавления системы управления эффективность управления огнем определяется качеством решения задач управления и устойчивостью системы управления. Поэтому коэффициент K_y , определяющий эффективность управления огнем подразделений ПВО СВ в условиях огневого и радиоэлектронного противодействия противника, можно представить произведением:

$$K_y = P_{\text{пр.р}} P_{\text{уст}},$$

где $P_{\text{пр.р}}$ – вероятность принятия правильных решений; $P_{\text{уст}}$ – вероятность устойчивого состояния системы управления в условиях противодействия противника.

Значение вероятности принятия правильных решений можно определить из отношения:

$$P_{\text{пр.р}} = \frac{N_{y0}}{N_0},$$

где N_{y0} – число успешно обстрелянных целей (число правильно принятых решений); N_0 – число целей, которые могли быть успешно обстреляны при полном использовании огневых возможностей подразделений ПВО.

Устойчивость системы управления как системная характеристика определяется такими свойствами системы как живучесть, помехоустойчивость и техническая надежность аппаратуры. В силу независимости указанных событий по теореме умножения вероятностей величину $P_{\text{уст}}$ можно выразить произведением

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{ж}} P_{\text{пу}} P_{\text{тн}},$$

где $P_{\text{ж}}$, $P_{\text{пу}}$, $P_{\text{тн}}$ – вероятности сохранения живучести, помехоустойчивости и технической надежности на уровне, обеспечивающем требуемую устойчивость системы управления.

В общем случае устойчивость системы управления можно оценить относительным числом сохраненных или работоспособных ее элементов с помощью показателей вида

$$P_{\text{уст}} = \frac{L - L^*}{L},$$

где L – общее число элементов системы; L^* – число пораженных (неработоспособных) элементов системы.

Вероятность сохранения живучести системы управления можно оценить соотношениями вида:

$$P_{ж} = \prod_{l=1}^L (1 - P_{y_{nl}}); \quad P_{y_{nl}} = P_{nl} \left[1 - \prod_{s=1}^{K_{sl}} (1 - P_{sl}) \right];$$

$$P_{nl} = \frac{t_{npl}}{t_{ny}}, \text{ если } t_{npl} \leq t_{ny}; \quad P_{nl} = 1, \text{ если } t_{npl} > t_{ny}; \quad P_{sl} = 1 - e^{-\frac{R_s^2(1-K_{\phi})}{2\sigma_s^2}},$$

где $P_{y_{nl}}$ – вероятность уничтожения l -го элемента системы управления; L – число элементов в системе; P_{nl} – вероятность нахождения l -го элемента системы на позиции; K_{sl} – число боеприпасов s -го типа, назначенных для поражения l -го элемента системы; P_{sl} – вероятность поражения l -го элемента системы одним боеприпасом s -го типа; t_{npl} – длительность пребывания l -го элемента на позиции; t_{ny} – временной интервал нанесения противником удара по позиции; R_s – радиус поражения боеприпаса s -го типа; σ_s – среднеквадратическая ошибка наведения боеприпаса s -го типа; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий степень защиты фортификационных сооружений.

Вероятность сохранения помехоустойчивости системы управления в условиях применения противником помех, с некоторыми допущениями, можно оценить коэффициентом проводки целей, как отношение

$$K_{пр.ц} = \frac{D_{п}}{D_{о}},$$

где $D_{п}$ – дальность обнаружения целей в условиях помех; $D_{о}$ – дальность обнаружения целей в условиях отсутствия помех.

Возможность обеспечения заданного уровня надежности системы управления можно оценить соотношением:

$$K_{тн} = \frac{T_{но}}{T_{но} + T_{в}},$$

где $T_{но}$ – среднее время наработки на отказ аппаратуры системы управления; $T_{в}$ – среднее время восстановления аппаратуры системы управления.

Показатели оценки подсистемы огневых средств. Математическое ожидание числа уничтоженных целей огневыми средствами (целевыми каналами) подразделения определяется произведением

$$\mu_s = N_{икс} N_{стрps} P_{ns} K_{ps},$$

где $N_{стрps}$ – число целевых каналов s -го типа; $N_{икс}$ – число стрельб, проведенных целевым каналом s -го типа; P_{ns} – вероятность поражения цели

заданным числом ракет (n); K_{ps} – коэффициент, который учитывает степень реализации огневых возможностей целевых каналов s -го типа.

Выводы. Рассмотренный методический подход к оценке информационно-управляющих систем и предложенная система показателей для оценки систем управления подразделениями ПВО СВ по мнению авторов создают необходимые условия для полной и всесторонней оценки системы с целью поиска и выбора ее оптимальной структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стратегічний оборонний бюлетень України на період до 2015 року (Біла книга України)*. – К.: МО України, 2004. – 96 с.
2. Кузьмин С.З. *Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации*. – М.: Радио и связь, 1986. – 350 с.
3. Вентцель Е.С. *Исследование операций*. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
4. Кулешов А.В., Онищенко В.Н., Перекосов Ю.П., Евтушенко И.М. *Методика оценки эффективности системы ПВО оперативно-тактического уровня на основе комплексной модели реального времени // Зб. наук. праць ХВУ. – Х.:ХВУ. – 2001. – Вип. 4 (39). – С. 111 – 114.*
5. Деменко М.П., Кулешов О.В., Перекосов Ю.П. *Методичний підхід до оцінки стійкості управління підрозділами ППО СВ // Зб. наук. праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2002. – Вип. 3 (41). – С. 14 – 16.*
6. Ворошилов С.В., Кулешов А.В., Перекосов Ю.П. *О выборе рационального варианта размещения на местности группировки ПВО СВ на основе комплексной модели с использованием цифровой карты // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 10 (38). – С. 9 – 15.*

Поступила 16.11.2004

ДЕМЕНКО Николай Петрович, канд. воен. наук, доцент, начальник Объединенного научно-исследовательского института ВС. В 1979 году окончил Военную академию ПВО Сухопутных войск. Область научных интересов – тактика войск ПВО Сухопутных войск.

КУЛЕШОВ Александр Васильевич, канд. воен. наук, доцент, нач. главного научно-исследовательского управления Объединенного научно-исследовательского института ВС. В 1987 году окончил Военную академию ПВО Сухопутных войск. Область научных интересов – тактика войск ПВО Сухопутных войск.

ПЕРЕКОСОВ Юрий Павлович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института ВС. В 1963 году окончил Харьковскую артиллерийскую радиотехническую академию. Область научных интересов – обработка информации в системах вооружения.