

ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ВАРИАНТА СПЕЦИАЛЬНОЙ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ, УЧАСТВУЮЩЕЙ В РАДИОЭЛЕКТРОННОМ КОНФЛИКТЕ

В. В. Гаршина*, М. В. Павловский**

**Воронежский государственный университет*

***Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Поступила в редакцию 10.03.2013 г.

Аннотация. В статье предлагается оригинальная модель выбора рационального варианта специальной сложной системы, используемой в радиоэлектронном конфликте для осуществления радиоподавления распределенной системы связи и передачи данных, новизна которой заключается в применении в рассматриваемой процедуре не критериального, а теоретико-игрового метода решения задачи выбора. В статье рассмотрены составляющие оценок, применяемых в теоретико-игровом подходе. Приведены примеры формирования стратегий игроков и решения задачи выбора, получаемый от этого решения выигрыш.

Ключевые слова: специальная система радиоэлектронного вооружения, распределенная система связи и передачи данных, информационно-управляющая система, теоретико-игровой метод решения задачи выбора.

Annotation. In article the original model of a choice of rational option of special system of radio-electronic arms for implementation of radio suppression of the distributed communication system and the data transmission which novelty consists in application in considered procedure not criteria, but a game-theoretic method of the solution of a problem of a choice is offered. In article components of the estimates applied in game-theoretic approach are considered. Examples of formation of strategy of players and the solution of a problem of the choice, a prize received from this decision are given.

Keywords: special system of the radio-electronic arms, the distributed communication system and data transmission, management information system, a game-theoretic method of the solution of a problem of a choice.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время выбор рациональных специальных систем радиоэлектронного вооружения (ССРВ), предназначенных для подавления распределенных систем связи (РССПД) в составе информационно-управляющих систем, основан на решении оптимизационных задач по критерию «эффективность-стоимость» [1]. Однако, такой подход, отвечая системным требованиям, не позволяет учесть степень достижимости характеристик ССРВ к требуемому времени, что приводит к неоднозначности оценок, особенно в условиях временной неопределенности [2] и применения ССРВ в различных географических условиях. Кроме того, анализ показывает зависимость как стоимостных, так и эффективностных оценок от времени, что

требует расширения критерия выбора и приведение его к виду «эффективность-стоимость-время», так как это позволит оценить достижимость требуемого уровня эффективности за лимитированные финансовые затраты и за ограниченное время. Кроме того, такой критерий, не отрицая существующих моделей, позволит повысить степень обоснованности принимаемых решений за счет учета изменений показателей эффективности и стоимости ССРВ в зависимости от времени.

Таким образом, является актуальным разработка новой модели выбора рационального варианта ССРВ, устраняющего указанный недостаток. Модель может быть использована в системах поддержки принятия решения, осуществляющих управление развитием сложными системами для различных географических условий (или стратегических направлений).

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РЕШЕНИЯ И СТРУКТУРЫ КРИТЕРИЯ

В теории управления различными организационными системами [3], к которым относятся и ССРВ, существует метод, позволяющий оценить все возможные альтернативы не только по отдельности, но и в сравнении друг с другом. Данный метод основан на решении задач теории игр при их рассмотрении в варианте игр с нулевой суммой и поиске смешанных стратегий на основе минимаксного критерия. При этом решение задачи по критерию «эффективность-стоимость-время» обеспечивает выбор наиболее рациональной структуры ССРВ, которая с приемлемой стоимостью и эффективностью, но за требуемое время обеспечит выполнение необходимых мероприятий с обоснованной для данных географических условий РССПД. Данный критерий должен содержать:

а) значение показателя военно-экономической целесообразности (α_C), полученное на основе определения стоимостей составляющих;

б) коэффициент соответствия времени (α_T), рассчитываемый на основе соотношения времени готовности ССРВ к выполнению своих функций по целевому назначению в полном объеме и отведенного времени;

в) показатели эффективности ССРВ по назначению (α_M), которые в случае рассмотрения конфликтного взаимодействия с РССПД могут быть оценены на уровне информационно-боевых показателей эффективности (ИБПЭ).

В качестве математического способа свертки указанных показателей, позволяющего осуществить взвешенный учет каждого из них, могут быть предложены аддитивная и мультипликативная формы представления. Для исключения возможности нивелирования показателей « α_C », « α_T » и « α_M » и принятия решения по физически нереализуемому образцу предлагается использовать мультипликативную форму свертки, представленную формулой (1):

$$P \equiv \prod_{i=1}^3 \alpha_i^{p_i}, \quad (1)$$

где α_i – составляющая эффективности ССРВ; p_i – весовой коэффициент влияния составляющей на значение всего оцениваемого критерия.

Для вычисления каждой из указанных в (1) составляющих могут быть использованы известные источники (например, для α_C [4], для α_T [1], для α_M [5], для p_i [6]. При этом на

указанные составляющие накладываются ограничения и условия их расчета:

1. Значение α_C , в основе которого лежит расчет стоимостных показателей всех работ по созданию оцениваемой ССРВ по известным методикам, вычисляется в виде показателя предпочтения этого варианта в сравнении с альтернативным вариантом ССРВ. При этом используется упрощенная формула (2):

$$\alpha_C = (C_{ал} + C_{доп}) / C_{оц}, \quad (2)$$

где $C_{оц}$ – оценка стоимости всех работ на создание оцениваемого варианта ССРВ; $C_{ал}$ – оценка стоимости всех работ по применению альтернативного варианта ССРВ; $C_{доп}$ – оценка стоимости дополнительного варианта, обеспечивающего тождество эффекта сравниваемых вариантов.

2. Значение α_T , в основе которого лежит расчет временных показателей всей цепочки работ по созданию оцениваемой ССРВ, вычисляется в виде показателя предпочтения этого варианта в сравнении с длительностью действия Программы вооружения. При этом используется формула (3), если T (время готовности оцениваемого варианта ССРВ) не превышает десяти лет:

$$\alpha_T = 1 + (10 - T)/10. \quad (3)$$

В случае превышения длительности цепочки работ десяти лет, осуществляется коррекция стоимости работ за счет интенсификации труда и использования труда в дополнительное (сверхурочное, ночное) время. Для этого используются коэффициенты, апробированные в [4] и осуществляется повторное вычисление α_C и α_T по данным скорректированных оценок стоимости и времени.

3. Значение α_M , в основе которого лежит оценка математического ожидания ИБПЭ достижимого от применения оцениваемой ССРВ ($M(t_3)$) по сравнению с требуемым значением времени задержки информации в РССПД в оцениваемом эпизоде ($T_{3-треб}$), рассчитывается по формуле (5):

$$\alpha_M = M(t_3) / T_{3-треб}. \quad (4)$$

Значение весовых коэффициентов в формуле (1) определяется из следующих условий:

1) сумма весовых коэффициентов должна равняться единице, что требует проведения их нормировки относительно суммы не нормированных значений весовых коэффициентов (p_i^*), то есть

$$\sum_{i=1}^3 p_i = 1, \\ p_i = \frac{p_i^*}{\sum_{i=1}^3 p_i^*};$$

2) каждый весовой коэффициент должен определяться из условий одновременного удовлетворения правилам вероятностного возникновения военных действий ($p_{i-ввд}$) и уникальности ситуаций ($p_{i-ун}$) [7];

3) каждый весовой коэффициент должен учитывать риски принятия истинных решений в условиях ограниченной априорной информации ($p_{i-р}$) [2, 5];

4) все весовые коэффициенты должны, устраняя презумпцию «случайного неизвестного» [7], оперировать вероятностями влияния составляющих на результирующий показатель в различных условиях военных действий ($p_{i-но}$);

5) весовые коэффициенты должны учитывать время выполнения военных действий: в условиях военного времени все ресурсы должны быть направлены на достижение победы и обеспечение максимума ИБПЭ, а в условиях мирного времени решающими являются ограниченные ресурсы при заданных ограничениях по эффективности и времени реализации ($p_{i-мв-вв}$).

С учетом приведенных рассуждений значения p_i^* определяются по формуле (5):

$$p_i^* = p_{i-ввд} \cdot \prod p_{i-ун} \cdot \prod p_{i-р} \cdot \prod p_{i-но} \cdot \prod p_{i-мв-вв}. \quad (5)$$

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ

Пусть эффективность действия ССРВ, то есть стороны А, по конфликтному взаимодействию с РССПД, то есть стороной В, оценивается составным критерием «П», вычисляемым по формуле (1) и определяющим исход игры сторон А и В при выборе конкретных стратегий. При этом конкретное значение составного критерия «П» зависит от численного состава, времени готовности и эффективности образцов, составляющих альтернативные ССРВ и весовыми оценками, что учитывается формулами (2)–(5). Создание сил стороны А возможно по любому сценарию из n возможных. Например, возможна полная замены образцов ССРВ на новые (стратегия A_1) или на модернизированные (стратегия A_2), но возможна и частичная замена образцов на новые, а других на модернизированные, или полное отсутствие изменений (стратегии A_3, A_4, \dots, A_n). Следовательно,

имеется « n » стратегий стороны А, которые определяются силами стороны В. Сторона В может построить свои силы с помощью только перспективных средств, созданных по абсолютно новым технологиям (стратегия B_1), или с помощью средств, полученных модернизацией существующих (стратегия B_2), или с помощью различных комбинаций создания и модернизации (стратегии B_3, B_4, \dots, B_k). Следовательно, имеется « k » стратегий стороны В. Оценка эффективности конфликтного взаимодействия A_n варианта ССРВ и B_k варианта РССПД по формулам (1) – (4) приводит к получению значения « $\Pi_{нк}$ » (исходу игры сторон А и В при выборе, соответственно, n -ой и k -ой стратегий).

Требуется найти такую комбинацию составов ССРВ (стратегию поведения стороны А), которая бы максимизировала бы значение $\Pi_{нк}$ с учетом возможного выбора противником любого состава РССПД (стратегии стороны В). Как показывает практика проведения расчетов, такая игра не будет иметь седловой точки. Следовательно, она будет решаться с использованием теоремы Неймана [3], а ее решение будет находиться среди смешанных стратегий.

С учетом предложенных подходов к формированию стратегий сторон А и В и к оценке исходов игры по формуле (1), в которой каждая составляющая оценивается по своим сложным моделям, платежная матрица будет иметь вид, представленный табл. 1. Для выбора рациональной ССРВ может быть применен следующий алгоритм решения теоретико-игровых задач с нулевой суммой с использованием смешанных стратегий и теоремы Неймана [3].

Шаг 1. Для каждого варианта ССРВ по формуле (4) оценивается значение α_M . Если это значение меньше единицы, то соответствующий вариант ССРВ сразу исключается из рассмотрения.

Шаг 2. Для каждого варианта ССРВ оценивается значение $C_{он}, T$ и α_T . Если значение α_T будет меньше единицы, то осуществляется коррекция $C_{он}$ и T .

Шаг 3. Для каждой сравниваемой пары ССРВ по формуле (2) вычисляется значение α_C . Если это значение меньше единицы, то соответствующий вариант ССРВ сразу исключается из рассмотрения.

Шаг 4. Для каждой сравниваемой пары ССРВ по формуле (1) вычисляется значение $\Pi_{нк}$.

Вид платежной матрицы для выбора рациональной ССРВ

Стратегии игроков	V_1	V_2	V_3	V_4	...	V_{k-1}	V_k
A_1	Π_{1-1}	Π_{1-2}	Π_{1-3}	Π_{1-4}	...	Π_{1-k-1}	Π_{1-k}
A_2	Π_{2-1}	Π_{2-2}	Π_{2-3}	Π_{2-4}	...	Π_{2-k-1}	Π_{2-k}
A_3	Π_{3-1}	Π_{3-2}	Π_{3-3}	Π_{3-4}	...	Π_{3-k-1}	Π_{3-k}
...
A_{n-1}	Π_{n-1-1}	Π_{n-1-2}	Π_{n-1-3}	Π_{n-1-4}	...	$\Pi_{n-1-k-1}$	Π_{n-1-k}
A_n	Π_{n-1}	Π_{n-2}	Π_{n-3}	Π_{n-4}	...	Π_{n-k-1}	Π_{n-k}

Шаг 5. Вычеркивание проигрышных и дублирующих стратегий **отдельно для каждого варианта географических условий**. В идеальном случае для каждого варианта географических условий получится конечная игра 2×2 , решение которой осуществляется с использованием классического подхода.»

Шаг 6. В результате решения представленной задачи для каждого варианта географических условий формируется свой набор оптимальных смешанных стратегий развития, определяющих вероятности, с которыми целесообразно осуществлять разработку и создание тех или иных ССРВ. Для получения рекомендаций по применению различных ССРВ в целом необходимо произвести свертку полученных показателей (шаг 7).

Шаг 7. Предположим, что для стороны А, в результате решения игровой задачи с нулевой суммой, представленной табл. 1, среди смешанных стратегий для трех географических условий (вероятность возникновения военных действий в которых равна P_1, P_2, P_3 , причем $P_1 + P_2 + P_3 = 1$) получены оптимальные смешанные стратегии. Причем

для первого варианта условий (вероятность возникновения военных действий равна P_1) целесообразно выбрать третью и седьмую стратегии развития с вероятностями, соответственно, p_3^* и p_7^* ,

для второго варианта условий (вероятность возникновения военных действий равна P_2) целесообразно выбрать вторую и пятую стратегии развития с вероятностями, соответственно, p_2^* и p_5^* ,

для третьего варианта условий (вероятность возникновения военных действий равна P_3)

целесообразно выбрать третью и пятую стратегии развития с вероятностями, соответственно, p_3^* и p_5^* .

Тогда резонным является решение о распределении любых видов ресурсов в пропорциях, определяющих поставку ССРВ в соответствии с равенством:

$$(p_3^* + p_7^*) \times P_1 + (p_2^* + p_5^*) \times P_2 + (p_3^* + p_5^*) \times P_3 = 1. \quad (6)$$

Приводя подобные члены в записи (6), можно получить рекомендации по распределению финансовых средств:

для реализации второго варианта ССРВ должны быть предусмотрены финансовые ассигнования в долях от всего объема, равными $p_2^* \times P_2$;

для реализации третьего варианта ССРВ должны быть предусмотрены финансовые ассигнования в долях от всего объема, равными $p_3^* \times (P_1 + P_3)$;

соответственно, для реализации пятого и седьмого вариантов ССРВ должны быть предусмотрены финансовые ассигнования в долях от всего объема, равными $p_5^* \times (P_2 + P_3)$ и $p_7^* \times P_1$.

Приведенные рассуждения приводят к увеличению математического ресурса, но позволяют повысить обоснованность предложений и предоставляют лицу принимающему решение более взвешенный подход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформирован новый методический подход к выбору рациональных ССРВ со средствами связи в составе РССПД противника. Существование данного подхода заключается не в превышении критерием эффективности некоторого порогового значения, а в определении вероятностных

оценок допустимости применения альтернативных вариантов ССРВ в различных по условиям действиях. Для проведения расчетов по предложенной игровой модели в настоящее время реализованы программы расчета α_C и α_M , позволяющие получить искомые оценки в ситуации быстро меняющейся обстановки, что обеспечивает их применение в реальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военно-экономический анализ. / под ред. д. эк. н. проф. Викулова С.В., - М: «Военное издательство», 2001.

2. *Трухаев Р.И.* Модели принятия решений в условиях неопределенности, - М: «Наука», 1981.

Павловский Максим Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры Боевого применения средств радиоэлектронной борьбы (с наземными системами управления) ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

Гаршина Вероника Викторовна - к.т.н., доц. кафедры Информационных технологий управления факультета Компьютерных наук, Воронежский государственный университет. Тел.: (473) 238-69-82. E-mail: garshina@cs.vsu.ru

3. Исследование операций в экономике: учеб. / под ред. проф. *Н.Ш. Крамера*, - М: ЮНИТИ, 2003.

4. Методики автоматизированного расчета стоимости работ по совершенствованию техники РЭБ – 5 ЦНИИИ МО РФ, 1996.

5. *Владимиров В.И.* Системы и комплексы РЭБ. Ч. 1. Системотехнические основы построения и проектирования, - Воронеж: ВИРЭ, 1999.

6. *Нестругин А.С.* Синтез комплексов радиосвязи в условиях неопределенности. / Нестругин А.С., Ничуговский В.Н., Мистров Л.Б // Вестн. ВГТУ. Сер. САПР и системы автоматизации производства, вып. 3.3 – Воронеж: ВГТУ, 2003.

8. *Дружинин В.В., Которов Д.С.* Основы военной системотехники, - М: МО СССР, войска ПВО, 1983.

Pavlovsky M.V. – Ph. d., Assoc. Prof. Associate Professor, Department of combat use of electronic warfare (with ground control systems). of Military education-science center of Military aviation forces “Military aviation academy named for prof. N.E. Zhukovsky and J.A. Gagarin” (Voronezh).

Garshina Veronika V. – Candidat of Technical Sciences, Associate Professor, the dept. of Information Technology Management, Voronezh State University. Tel. (473) 2386982. E-mail: garshina@cs.vsu.ru