

УДК 623.765:681.513.6

В.Д. Карлов, М.А. Павленко, Н.А. Королюк

## РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

В данной статье рассматриваются вопросы связанные с разработкой процедуры оценки опасности складывающейся оперативно-тактической обстановки. Проводится анализ и выбор аппарата формализации, формируется множество признаков для оценки разрабатывается процедура проведения экспертного опроса.

**Ключевые слова:** экспертный опрос, нечеткие множества, оценка ситуации.

### Введение

В АСУ реального времени, как правило, невозможно выделить элементарные свойства и признаки, факторы, которые однозначно определяют степень опасности ситуации в условиях которой происходит функционирование системы.

Анализ ситуаций показывает, что лица принимающие решения (ЛПР) не умеют грамотно оценить степень опасности, спрогнозировать обстановку, принять в нужный момент адекватные решения и выполнить необходимые действия для обеспечения решаемых задач, что приводит к непоправимым последствиям. Учет множества опасных факторов, влияющих на оперативно-тактическую обстановку, позволяет выработать соответствующие рекомендации ЛПР с целью своевременной выдачи распоряжений, приказов подчиненным силам и средствам для обеспечения требуемого реагирования. Поэтому задача формирования множества факторов, влияющих на степень опасности оперативно-тактической обстановки является актуальной.

Основной целью данной статьи является разработка формализованной процедуры оценки опасности складывающейся оперативно-тактической обстановки с возможностью реализации в составе специального математического и программного обеспечения АСУ.

### Основная часть

Под степенью опасности оперативно-тактической обстановки будем понимать совокупность факторов, свойств, признаков, а также возможности группировки нанести в определенный момент (промежуток) времени ущерб нашим войскам или объектам.

В этом случае целесообразно постановка экспертизы определения важности фактора, влияющего на степень опасности ситуации.

Как известно, весовые коэффициенты факторов влияющих на степень опасности оперативно-тактической обстановки, можно получить несколькими способами [1, 2]. В основе подавляющего большинства применяемых на практике методов

лежит опрос экспертов с последующей математической обработкой их суждений. Рассмотрим наиболее известные из них с последующим применением для математической обработкой их суждений. Как правило, весовые коэффициенты представляются в долях единицы, т.е. их сумма равна единице или 100%, что позволяет легко интерпретировать значимость влияющих факторов.

**Прямая расстановка.** Экспертам предлагается расставить коэффициенты  $k_i$  при соответствующих

факторах исходя из условия  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ , то есть ре-

шить задачу непосредственно. Правда, известны случаи, когда веса присваиваются факторам без выполнения требования равенства их суммы единице или 100% [7]. Вместо этого экспертам предлагается расставить веса, значения которых находятся в некоторых пределах.

**Ранжирование факторов.** Ранжирование позволяет упорядочить факторы по степени возрастания или убывания их влияния на интересующий исследователя социальный феномен [3 – 5]. Результаты ранжирования  $n$  факторов  $m$  экспертов можно представить в виде матрицы:

$$\left. \begin{array}{cccc} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{n2} \\ x_{1m} & x_{2m} & \dots & x_{nm} \end{array} \right\}.$$

Сводные оценки весовых коэффициентов можно получить в результате усреднения частных рангов.

**Парное сравнение.** В этом методе экспертам предлагается последовательно сравнивать факторы попарно. Информация от каждого эксперта поступает в форме булевой матрицы парных сравнений:

$$\gamma_j = (\gamma_{ik,j}),$$

где  $i, k = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$ ,  $\gamma_{ik,j} = 1, \dots, m$  результат парного сравнения  $j$ -м экспертом факторов и может выражаться либо единицей, либо нулем [7].

Результаты парных сравнений представляются в виде булевых матриц и обрабатываются соответствующими методами.

Парное сравнение факторов обладает одним существенным недостатком, способным в значительной мере затруднить работу эксперта, так как он в явном или неявном виде градуирует каждый влияющий фактор на несколько диапазонов в пределах возможных численных значений фактора.

**Метод анализа иерархий.** Суть этого подхода заключается в попарном сопоставлении факторов, влияющих на феномен, но по специальной шкале. Психологически это значительно легче, что подтверждено специальными исследованиями [2], чем оценивать их все сразу или в пределах выделенных групп.

Результаты парных сравнений представляют в виде матрицы  $X = x_{ij}$ . Здесь  $x_{ij}$  означает отношение весов соответствующих факторов. Поэтому должно выполняться условие антисимметричности  $x_{ij} = 1/x_{ji}$ .

Автор данной методологии Саати [5, 6] показал, что веса факторов равны собственному вектору матрицы парных сравнений.

Таким образом, для оценки степени опасности оперативно-тактической обстановки целесообразно сравнивать каждую пару факторов, абстрагируясь от посторонних влияний, вызываемых другими ситуациями, методом прямой расстановки [9].

Возникает задача формирования из этого множества такого множества опасных факторов -  $M = \{m_j\}, j = \overline{1, k}$ , где  $m_j$  - элемент множества факторов, которые необходимо учитывать для своевременного реагирования ЛПР при изменении оперативно-тактической обстановки.

Для формирования искомого множества опасных факторов необходима постановка экспертизы.

Результаты представляются в виде нечетких отношений предпочтений [6 - 8]. То есть используется схема экспертизы, в которой эксперты высказывают свои суждения о важности элементов в виде нечетких бинарных отношений нестрогого предпочтения элемента  $m_{j^*}$  к элементу  $m_{j^{**}}, j^*, j^{**} = \overline{1, k}$ , а обработка результатов экспертизы позволяет перейти к бинарному отношению строгого предпочтения и ядру нечеткого отношения строгого предпочтения, элементы функции принадлежности которого трактуются как уровни недоминируемости элементов множества.

При сравнении элементов эксперт должен указать как суммарная интенсивность предпочтения, приходящаяся на оба рассматриваемых элемента и обычно равная единице, распределяется между ними.

$$\mu_{\tilde{R}_>} = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_>}(m', m'') - \mu_{\tilde{R}_>}(m'', m'), & \text{если } \mu_{\tilde{R}_>}(m', m'') \geq \mu_{\tilde{R}_>}(m'', m'); \\ 0, & \text{если } \mu_{\tilde{R}_>}(m', m'') < \mu_{\tilde{R}_>}(m'', m') \end{cases} \quad (3)$$

Если  $M$  есть универсальное (обычное) множество элементов, то субъективное мнение каждый  $l$ -ый эксперт,  $l = \overline{1, L}$  представляет функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m', m''), m', m'' \in M$  нечеткого подмножества  $\tilde{R}_>$  бинарных отношений нестрогого предпочтения. В соответствии [6,8] нечетким отношением  $\tilde{R}(m', m'')$  на обычном множестве  $M$  называют нечеткое подмножество прямого декартового произведения  $M \times M$ , которое характеризуется функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{R}} : M \times M \rightarrow [0, 1]$ , а значение  $\mu_{\tilde{R}_>}(m', m'')$  принимается как субъективная мера отношения  $(m', m'') \in \tilde{R}$ . Каждый  $l$ -ый эксперт руководствуется тем, что значение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'')$  для каждой пары сравниваемых элементов означает степень выполнения предпочтения: «элемент  $m'$  «не хуже» элемента  $m''$ ».

Исходя из того, что нечеткое отношение нестрогого предпочтения обладает свойством рефлексивности, то  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 1$ . Если  $\mu_{\tilde{R}}(m', m'') = 0$ , то это означает, что либо  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') > 0$ , то есть элемент  $m''$  «не хуже» элемента  $m'$ , либо  $\mu_{\tilde{R}}(m'', m') = 0$ , то есть элемент  $m''$  и  $m'$  не сравнимы между собой.

При попарном сравнении эксперты учитывают условие нормировки, из которого следует  $\mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m'', m')$ .

Каждый эксперт свое субъективное суждение о нечетком бинарном отношении нестрогого предпочтения элементов множества представляет функцией принадлежности в виде матрицы:

$$\mu_{\tilde{R}_>}^{(l)} = \left\| \mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m', m'') \right\|, m', m'' \in \tilde{R}, l = \overline{1, L}. \quad (1)$$

С учетом весов экспертов  $K_l, l = \overline{1, L}$  матрицы  $\mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}$  усредняются по соотношению:

$$\mu_{\tilde{R}_>}(m', m'') = \frac{\sum_{l=1}^L K_l \mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m', m'')}{\sum_{l=1}^L K_l}. \quad (2)$$

Обработка результатов экспертизы состоит в следующем. Матрица значений функции принадлежности нечеткого бинарного отношения нестрогого предпочтения  $\left\| \mu_{\tilde{R}_>}^{(l)}(m', m'') \right\|$  по соотношению вида:

преобразуется в матрицу  $\mu_{\bar{R}_>} = \|\mu_{\bar{R}_>}(m', m'')\|$  значе- ний функции принадлежности нечеткого бинарного отношения строгого предпочтения. Формирование множества предпочтительных элементов  $M_f \subset M$  связано с необходимостью сужения множества  $M$ , которое возможно при определении меры недоминируемости его элементов.

Элемент  $m^{(q)} \in M$  называется недоминирующим по отношению строгого предпочтения, если среди других элементов множества  $M$  не существует ни одного такого  $m \in M$ , который был бы строго предпочтительнее  $m^{(q)}$ , а подмножество недоминируемых элементов  $\{m^{(q)}\}$  составляет ядро нечеткого отношения строгого отношения на  $M$ , то есть:

$$M_{\bar{R}_>} = \{m^{(q)} / \exists m \in M : m \succ m^{(q)}; \forall m, m^{(q)} \in M\}.$$

Ядро  $M_{\bar{R}_>}$  имеет функцию принадлежности  $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m)$ , которая с учетом (3) определяется по следующему соотношению

$$\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m) = \min_{m' \in M} (1 - \mu_{\bar{R}_>}(m', m)), \forall m', m'' \in M. \quad (4)$$

Значимость компонент функции принадлежности ядра нечеткого отношения строгого предпочтения (4) позволяет упорядочить элементы множества по уровням недоминируемости.

Полученные по результатам обработки (3), (4) значения компонент функции принадлежности ядра нечеткого отношения строгого предпочтения  $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m)$  на универсальном множестве  $M$  позволяют упорядочить элементы множества  $\{m_j\}, j = \overline{1, k}$  по уровням их недоминируемости. Из множества  $M$  выделяют подмножество  $M^* \in M$  наиболее опасных факторов, влияющих на оперативно-тактическую обстановку.

Если  $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m) \geq 0,5$ , то множество факторов имеет следующий вид

$$M^{*(\alpha)} = \{m_j^{(\alpha)} / \mu_{M_{\bar{R}_>}} \geq \alpha : m_j^{(\alpha)} \in M_{\bar{R}_>}, j = \overline{1, k}\}.$$

Множество факторов, влияющих на степень опасности оперативно-тактической обстановки, имеет вид:

$M = \{угроза пересечения государственной границы; захват воздушного объекта террористом; приближение неопознанного летательного аппарата к стратегически важному объекту; взаимоотношения с соседними государствами на политической арене; количественный состав воздушных объектов, приближающихся к государственной границе; направление на ключевые объекты инфраструктуры и коммуникаций полета ударной группы; направление полета ударной группы на аэродромы; во-$

$\text{оруженная диверсия; качественный состав воздушных объектов, приближающихся к государственной границе; .....}\}.$

Значения функции принадлежности нечеткого бинарного отношения нестрогого ( $\mu_{M_{\bar{R}_\geq}}(m)$ ) и строгого ( $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m)$ ) предпочтения, полученные в результате постановки экспертизы и обработки экспертных данных, представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Функции принадлежности нечеткого отношения нестрогого предпочтения опасных факторов

$\mu_{M_{\bar{R}_\geq}}(m) =$		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	...	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$
	$\alpha_1$	1	0,6	0,7	...	0,9	0,9
	$\alpha_2$	0,4	1	0,7	...	0,9	0,9
	$\alpha_{10}$	0,2	0,2	0,3	...	0,9	0,9
	...	...	...	...	...	...	...
	$\alpha_{12}$	0,1	0,2	0,2	...	0,9	0,9
	$\alpha_{13}$	0,1	0,2	0,2	...	0,9	0,9
	$\alpha_{14}$	0,1	0,1	0,1	...	0,7	0,9
	$\alpha_{15}$	0,1	0,1	0,1	...	1	0,5
	$\alpha_{16}$	0,1	0,1	0,1	...	0,5	1

Согласно выражения (4)  $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m)$  имеет вид:

$\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m) = \|\text{1/угроза пересечения государственной границы; 0,8/захват воздушного объекта террористом; 0,8/приближение неопознанного летательного аппарата к стратегически важному объекту; 0,6/взаимоотношения с соседними государствами на политической арене; 0,4/количественный состав воздушных объектов, приближающихся к государственной границе; 0,4/направление на ключевые объекты инфраструктуры и коммуникаций полета ударной группы; 0,3/вооруженная диверсия; 0,3/ качественный состав воздушных объектов, приближающихся к государственной границе; 0,3/.....; 0,3/.....; 0,2/.....; 0,2/.....; 0,2/.....; 0,2/.....; 0,2/.....}\|.$

Таблица 2

Функции принадлежности нечеткого отношения строгого предпочтения параметров

$\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m) =$		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	...	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$
	$\alpha_1$	0	0,2	0,4	...	0,8	0,8
	$\alpha_2$	0	0	0,4	...	0,8	0,8
	$\alpha_3$	0	0	0	...	0,8	0,8
	...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	$\alpha_{15}$	0	0	0	...	0	0
	$\alpha_{16}$	0	0	0	...	0	0

Пусть уровень недоминируемости параметров  $\alpha > 0,3$ . Тогда множество опасных факторов, влияющих на степень опасности оперативно-тактической обстановки, располагаются в порядке уменьшения их важности:

$M = \{1/\text{угроза пересечения государственной границы}; 0,8/\text{захват воздушного объекта террористом}; 0,8/\text{приближение неопознанного летательного аппарата к стратегически важному объекту}; 0,6/\text{взаимоотношения с соседними государствами на политической арене}; 0,4/\text{количественный состав воздушных объектов, приближающихся к государственной границе}; 0,4/\text{направление на ключевые объекты инфраструктуры и коммуникаций полета ударной группы}\}$ .

### Вывод

Таким образом, используя разработанную процедуру оценки опасности сложившейся оперативно-тактической обстановки возможно выделить значимые и незначимые факторы. Это в свою очередь позволит гибко регулировать процедуру логического вывода и позволит провести ЛПР "аргументацию" принятия решения. Также разработанная процедура позволит корректировать уровень доверия к получаемым результатам и регулировать строгость и доказуемых полученных оценок опасности ситуаций. Достаточно простая математическая модель позволяет использовать предложенную процедуру при разработке систем поддержки принятия решений в АСУ.

### Список литературы

1. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 158 с.

2. Базара М. Нелинейное программирование: Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. – М.: Мир, 1982. – 456 с.

3. Острейковский В.А. Теория систем / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 1997. – 347 с.

4. Сеченов И.М. Элементы мысли / И.М. Сеченов. – СПб.: Питер, 2001. – 234 с.

5. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» / В.Б. Коробов // Социология: 4М. – 2005. – № 20. – С. 54-75.

6. Сафонов И.В. Методы и системы прогнозирования на основе экспертных оценок / И.В. Сафонов. – К.: Знание, 1979. – 38 с.

7. Гаврилова Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. – М.: Радио и связь, 1992. – 687 с.

8. Мелехов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелехов. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

9. Кукобко С.В. Структура специального математического обеспечения імітації повітряної обстановки в підсистемі тренажу АСУ спеціального призначення / С.В. Кукобко, М.А. Павленко, Є.С. Роцупкін // Системи озброєння та військової техніки: наук. ж. – Х: ХУ ПС, 2008. – № 2 (14). – С. 44-48.

Поступила в редколлегию 11.07.2012

Рецензент: канд техн. наук, проф. Б.М. Судаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

В.Д. Карлов, М.А. Павленко, Н.О. Королюк

У даній статті розглядаються питання пов'язані з розробкою процедури оцінки небезпеки оперативно-тактичної обстановки що складається. Проводиться аналіз і вибір апарату формалізації, формується безліч ознак для оцінки розробляється процедура проведення експертного опитування.

**Ключові слова:** експертне опитування, нечіткі множини, оцінка ситуації.

### DEVELOPMENT OF RISK ASSESSMENT PROCEDURE TASK ENVIRONMENT

V.D. Karlov, M.A. Pavlenko, N.A. Korolyuk

This article discusses issues related to the development of the risk assessment procedure evolving operational and tactical situation. The analysis and selection of staff formalization, formed many signs designed to assess the procedure of expert survey.

**Keywords:** expert interviews, fuzzy sets, assessment of the situation.