

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЖНОСТИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

М.И. Володин, С.А. Олизаренко, Э.Ю. Першина  
(Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины)

*Разработана методика определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки на основе метода сравнительной оценки многокритериальных альтернатив при проектировании системы поддержки принятия решений по контролю воздушного пространства.*

*система поддержки принятия решений, контроль воздушного пространства*

**Постановка проблемы.** Процесс принятия решения по контролю воздушного пространства неразрывно связан с разрешением нештатных ситуаций воздушной обстановки.

Под штатной ситуацией воздушной обстановки понимается ситуация, при которой воздушное средство (объект) движется в заданных коридорах полета, с заданной скоростью, с определенным курсом движения, в соответствии с расписанием и т.д. Соответственно под нештатной ситуацией понимается ситуация, при которой воздушное средство (объект) движется с нарушением одного или нескольких перечисленных параметров.

Поскольку в ходе контроля воздушного пространства возможно одновременное появление нескольких нештатных ситуаций воздушной обстановки, то возникает задача определения очередности их разрешения. В общем случае, процесс формирования такой очередности представляет собой процесс ранжирования ситуаций в порядке уменьшения важности и срочности их разрешения. Под важностью нештатной ситуации воздушной обстановки будем понимать степень ее влияния на объекты, представляющие интерес в политическом, военном или каком-либо другом аспекте жизнедеятельности государства.

В рассматриваемой статье предлагается новый подход к решению задачи определения важности нештатных ситуаций с целью последующего формирования очередности их разрешения.

**Анализ литературы.** Для автоматизации процесса принятия решений в нештатных ситуациях в реальном времени, как правило, используются системы поддержки принятия решений (СППР) [1]. В частности, в целом ряде работ предложены различные подходы к решению задачи определения важности и формирования очередности разрешения ситуа-

ций с использованием СППР [1, 3 – 5]. Так, например, в [1] задача ранжирования ситуаций в порядке уменьшения их важности интерпретируется как задача составления расписания для одного оператора. При этом в основе решения задачи используется метод динамического программирования, реализующий алгоритм Сахни – Горвица. Данный подход, во-первых, используется только после непосредственного появления нештатных ситуаций, что, в целом, существенно для условий реального времени; во-вторых, не учитывает изменение важности на разных этапах разрешения нештатных ситуаций и влияние важности признаков, характеризующих эти ситуации. Рассмотренные недостатки в той или иной степени характерны для всех подходов, предложенных в [1, 3 – 5].

**Цель статьи.** Повышение оперативности разрешения одновременно появившихся нештатных ситуаций воздушной обстановки за счет заблаговременного (на этапе проектирования СППР) определения их важности.

**Основная часть.** Процесс формализации нештатных ситуаций воздушной обстановки на этапе проектирования СППР включает решение следующих задач [2]:

- 1) определение словаря признаков, характеризующих нештатные ситуации;
- 2) составление алфавита классов нештатных ситуаций;
- 3) выбор алгоритмов распознавания, обеспечивающих отнесение распознаваемой нештатной ситуации к тому или другому классу; разработка специальных алгоритмов управления работой СППР при разрешении нештатной ситуации;
- 4) выбор показателей эффективности СППР в процессе разрешения и оценка их значений.

Назначение алгоритмов, полученных в результате решения третьей задачи, состоит в достижении оптимального результата разрешения нештатных ситуаций с использованием СППР. В качестве критерия оптимальности могут использоваться, например, вероятность правильного распознавания ситуации, среднее время разрешения одной ситуации, общее время разрешения нескольких ситуаций при их одновременном появлении и т.д.

На общее время разрешения ситуаций оказывает влияние не только непосредственно время разрешения каждой ситуации отдельно, но также и время формирования очередности их разрешения в зависимости, например, от степени влияния ситуаций на объекты противовоздушной обороны и срочности разрешения. Время формирования данной очередности можно уменьшить за счет определения важности нештатных ситуаций уже на этапе формирования соответствующего алфавита классов, т.е. при решении второй задачи формализации нештатных ситуаций воздушной обстановки на этапе проектирования СППР. В зависимости от складывающейся

обстановки в ходе контроля воздушного пространства может измениться значение важности конкретной нештатной ситуации. В этом случае уже на основе новых данных должно осуществляться формирование новой очередности разрешения ситуаций. Порядок определения и оценки важности нештатных ситуаций непосредственно в ходе контроля воздушного пространства в данной статье не рассматривается.

Каждый признак, характеризующий нештатную ситуацию воздушной обстановки, может иметь свою шкалу возможных значений. Декартово произведение шкал признаков задает множество всех гипотетически возможных состояний разрешаемой нештатной ситуации. В каждом состоянии ситуация может обладать тем или иным значением важности. Кроме того, в зависимости от этапа разрешения ситуации тот или иной признак может иметь свою шкалу важности (шкалу приоритетов) и тем самым влиять (доминировать) на определение общего значения важности ситуации.

Разработанная методика определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки основывается на использовании метода сравнительной оценки многокритериальных альтернатив (объектов оцениваемых по нескольким критериям) и включает три основных этапа, выполняемых в ходе проектирования СППР:

- оценку важности нештатных ситуаций относительно обобщенных этапов, которые необходимо выполнить с целью разрешения этих ситуаций;
- оценку важности нештатных ситуаций относительно возможных состояний ситуаций, определяемых конкретными значениями признаков ситуации;
- определение результирующей важности для каждой нештатной ситуации воздушной обстановки.

Рассмотрим содержание первого этапа разработанной методики. Пусть последовательность разрешения некоторой ситуации включает  $N$  этапов (например, этапы распознавания, формирования (контроля) очередности разрешения, формирования гипотез о причинах возникновения ситуаций, формирование плана проверки и реализации решений и т.д.). Значения важности этапов, определяемые экспертами, запишем в виде вектора

$$Z = [z_1, z_2, \dots, z_N], \sum_{i=1}^N z_i = 1.$$

В зависимости от выполняемого этапа, каждый признак конкретной ситуации может приобретать разную значимость. Величина значимости определяется экспертным путем в виде весового коэффициента важности, характеризующего важность признака ситуации в ходе выполнении заданного этапа. Значения весовых коэффициентов важности признаков ситуаций зададим в виде матрицы:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1M} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N1} & C_{N2} & \dots & C_{NM} \end{bmatrix},$$

где  $C_{ij}$ , ( $i = 1, \dots, N$ ;  $j = 1, \dots, M$ ) – элементы матрицы, характеризующие важность  $j$ -го признака ситуаций в ходе выполнении  $i$ -го этапа, при этом

$$\sum_{j=1}^M C_{ij} = 1.$$

В результате перемножения вектора  $Z$  и матрицы  $C$  получаем вектор приоритетов  $W^{pr}$ , который учитывает одновременно важность признаков ситуаций и этапов их разрешения:

$$W^{pr} = Z C = [W_1^{pr}, W_2^{pr}, \dots, W_M^{pr}].$$

Выполнение второго этапа разработанной методики включает построение дискретной шкалы предпочтений лица принимающего решения (ЛПР) и оценку важности нештатных ситуаций воздушной обстановки по их признакам на основе парных сравнений.

Пусть некоторая нештатная ситуация характеризуется множеством означенных признаков  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_M\}$  и  $X_m$  – это область значений важности означенного признака  $P_m \in P$ . Результат оценки важности ситуации по значению важности признака  $P_m$  может быть представлен посредством отображения  $f_m$  из множества  $X_m$  в множество  $Y_m$  – множество оценок важности всех возможных значений признака  $P_m$ . При этом, для  $\forall x \in X_m$  определяется степень совместимости между оценками важности значений признака  $y \in Y_m$  и оценки лица принимающего решения (ЛПР). В ряде случаев оценка ЛПР может быть описана в лингвистической форме и представлена с помощью дискретной шкалы предпочтений, включающей 4 – 7 уровней совместимости в зависимости от порога восприятия ЛПР. Например, в данном рассмотрении, лингвистическая оценка может иметь следующие значения: “не рассматривается”, “неважное значение”, “важное значение”, “очень важное значение”.

Оценка важности нештатных ситуаций воздушной обстановки по их признакам на основе парных сравнений заключается в выполнении следующих семи этапов.

На первом этапе определяется масштабный коэффициент  $K_m$  по формуле:

$$K_m = (p_{lt}^0 - p_{hv}^s) / s,$$

где  $p_{lt}^0$  – значение признака  $P_m$ , совмещенного со значением лингвистической оценки, соответствующей не рассматриваемому признаку ситуации;  $p_{hv}^s$  – значение признака  $P_m$ , совмещенного со значением лингвистической оценки, соответствующей наиболее важному признаку ситуации;  $h, l = \{1, \dots, L\}$ ,  $L$  – количество нештатных ситуаций;  $v, t = \{1, \dots, T\}$ ,  $T$  – количество значений признака;  $s$  – количество уровней совместимости. Значения признака для каждой ситуации заносятся в табл. 1.

Таблица 1

Значения заданного признака нештатных ситуаций

Номер ситуации	Значения параметра $P_m$				
1	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{1t}$	...	$p_{1T}$
2	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{2t}$	...	$p_{2T}$
...	...	...	...	...	...
L	$p_{L1}$	$p_{L2}$	$p_{Lt}$	...	$p_{LT}$

На втором этапе, если ЛППР предложено оценить важность ситуации по параметру  $P_m$ , имеющему значение  $p_{hv}$ , расчет осуществляется по формуле:

$$x_h = (p_{lt}^0 - p_{hv}) / K_m.$$

На третьем этапе по значению  $x_h$  через функцию принадлежности, значения которой сведены в табл. 2, определяется нормированное значение оценки  $y_{hv}$  по выбранному признаку  $P_m$  ситуации  $h \in L$ .

Таблица 2

Значения функции принадлежности нештатных ситуаций

Номер ситуации	Значения функции принадлежности $Y_m$				
1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{1t}$	...	$y_{1T}$
2	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{2t}$	...	$y_{2T}$
...	...	...	...	...	...
L	$y_{L1}$	$y_{L2}$	$y_{Lt}$	...	$y_{LT}$

Таким образом, каждая нештатная ситуация получает экспертную оценку важности по выбранным признакам.

На четвертом этапе с использованием специальных правил сравнения двух ситуаций формируются матрицы парных сравнений  $A_m$  по каждому признаку для всех  $L$  нештатных ситуаций:

$$A_m = |A_{ij}| = \begin{vmatrix} 1 & A_{12} & \dots & A_{1L} \\ A_{21} & 1 & \dots & A_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{L1} & A_{L2} & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

На пятом этапе для формирования матрицы парных сравнений по выбранному признаку анализируются значения экспертной оценки важности признака на основе шкалы, которая представлена в виде табл. 3.

Таблица 3

Шкала, характеризующая значения экспертной оценки важности признаков

Относительная важность	Определение
0	Ситуации не сравнимы
1	Равные значения признаков
3	Умеренное превосходство
5	Существенное превосходство
7	Сильное превосходство
9	Очень сильное превосходство
Обратные числа	Значения при обратном сравнении

На шестом этапе при помощи ниже перечисленных правил сравнения определяются элементы матрицы  $A_m$ :

П 1. Если ситуации имеют одинаковую оценку важности  $y_{hv}$  признака, то  $A_{ij} = A_{ji} = 1$ ;

П 2. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = 1$ , то  $A_{ij} = \frac{1}{3}$ ,  $A_{ji} = 3$ ;

П 3. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = -1$ , то  $A_{ij} = 3$ ,  $A_{ji} = \frac{1}{3}$ ;

П 4. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = 2$ , то  $A_{ij} = \frac{1}{5}$ ,  $A_{ji} = 5$ ;

П 4. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = -2$ , то  $A_{ij} = 5$ ,  $A_{ji} = \frac{1}{5}$ ;

П 5. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = 3$ , то  $A_{ij} = \frac{1}{7}$ ,  $A_{ji} = 7$ ;

П 6. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = -3$ , то  $A_{ij} = 7$ ,  $A_{ji} = \frac{1}{7}$ ;

П 7. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = 4$ , то  $A_{ij} = \frac{1}{9}$ ,  $A_{ji} = 9$ ;

П 8. Если  $y_{hvi} - y_{hvj} = -4$ , то  $A_{ij} = 9$ ,  $A_{ji} = \frac{1}{9}$ ;

П 9. Если  $i = j$ , то  $A_{ij} = 1$ .

На седьмом этапе для оценки важности нештатных ситуаций по каждому признаку производится две операции:

1) нормализация по столбцам матрицы  $A_m$  с получением матрицы  $A_m^{нор}$ , каждый элемент которой  $a_{ij}^{нор}$  находится по формуле

$$a_{ij}^{\text{hop}} = a_{ij} / \sum_{j=1}^L a_{ij} ;$$

2) получение для  $m$ -го признака собственного вектора матрицы  $A_m^{\text{hop}}$  :

$$V_m = [v_{m1}, v_{m2}, \dots, v_{mL}] ,$$

где  $v_{ml} = v_n = \sum_{n=1}^N a_{nj}^{\text{hop}} / L .$

Результирующая важность  $l$ -ой нештатной ситуации  $W_{NS_l}$  вычисляется по формуле

$$W_{NS_l} = \sum_{m=1}^M W_m^{\text{pr}} v_{ml} .$$

**Выводы.** Разработанная методика позволяет: во-первых, формализовать как процесс обработки суждений экспертов, так и процесс выработки самих суждений и тем самым автоматизировать процесс определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки непосредственно при проектировании СППР; во-вторых, повысить оперативность разрешения нештатных ситуаций воздушной обстановки в ходе контроля воздушного пространства за счет предварительного, на этапе проектирования СППР, ранжирования данных ситуаций по важности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. *Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта.* – К: Наук. думка, 1993. – 183 с.
2. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. *Методы распознавания.* – М.: Высшая школа, 1984. – 207 с.
3. Грачёв В.М., Попрыгин А.Н. *Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети // Сб. научн. тр. ХВУ. – Х: ХВУ. – 1995. – Вып. 8. – С. 49 – 54.*
4. Поспелов Д.А. *Ситуационное управление. Теория и практика.* – М.: Наука, 1986. – 284 с.
5. Прохоров В.П., Володин М.И. *Определение степени важности объектов сложной системы и их элементов // Информационные системы. – Х: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1998. – Вып. 3 (11). – С. 64 – 68.*

Поступила 28.03.2005

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор Х.А. Турсунходжаев,  
Харьковский университет Воздушных Сил.