

О.І. Тимочко<sup>1</sup>, П.П. Зуєв<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Повітряне командування «Південь», Одеса

## МЕТОД ОЦІНКИ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ

Проведено аналіз основних типів порушень повітряними засобами контрольованого простору держави. Результати аналізу дозволили класифікувати порушення порядку використання повітряного простору України за типами. Розроблено метод оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі у межах границі Повітряного командування. Запропонований метод дозволить особі, що приймає рішення, адекватно реагувати на розвиток ситуації у зоні відповідальності Повітряного командування.

**Ключові слова:** повітряний простір, нештатна ситуація, розпізнавання ситуації, повітряний засіб.

### Постановка проблеми та аналіз літератури

Основною метою розпізнавання ситуацій у повітряному просторі є віднесення їх формалізованих описів до відповідних класів. Автоматизація процедур розпізнавання повітряних засобів (ПЗ) у повітряному просторі є елементом автоматизації прийняття рішень. За наслідками розпізнавання ситуацій приймаються рішення про застосування чергових сил Повітряного командування (ПвК).

Керівні документи з контролю повітряного простору України і порядку його використання ПЗ різних відомств України та іноземних держав дозволяють виділити у зоні відповідальності ПвК штатні та нештатні ситуації [1; 2].

Штатною ситуацією називається рух повітряного засобу (судна) у заданих коридорах польоту ( $Z_k$ ), із заданою швидкістю ( $\Delta V_3$ ), у заданому ешелоні висоти ( $\Delta H_3$ ), з певним курсом ( $\Delta \psi_3$ ), у заданому інтервалі часу ( $\Delta t_3$ ) відповідно до розкладу (заявки) на проліт і кількості ( $K_j$ ), вказаному у заявці [3].

Під нештатною ситуацією мається на увазі рух повітряного судна поза розкладом (без заявки) на проліт або з порушенням одного або декількох вищезгаданих параметрів. Нештатна ситуація також класифікується на ряд типів порушень порядку використання повітряного простору (табл. 1, рис. 1) [2; 3].

Сьогодні для розпізнавання ситуацій у повітряному просторі необхідно побудувати сукупність моделей, що відображають уявлення про повітряну обстановку у зоні відповідальності [2–4]. Запропонований підхід до розпізнавання повітряної ситуації

є удосконаленням відомих методів теорії розпізнавання та теорії інтелектуальних систем [5; 6].

Таблиця 1  
Типи порушень повітряними засобами  
порядку використання контрольованого простору

Найменування ситуацій у повітряному просторі	Опис ситуацій, що виникають у повітряному просторі
Загроза перетину державного кордону України ПЗ (УПГ)	ПЗ рухається у напрямі державного кордону України поза розкладом (без заявки) на проліт
Перетин державного кордону України ззовні ПЗ (ПГГ)	ПЗ перетинає державний кордон України ззовні без заявки (поза розкладом) на проліт
Форс-мажорна ситуація (ФМС)	ПЗ перетинає державний кордон України ззовні без заявки (поза розкладом) на проліт у зв'язку з форс-мажорною ситуацією
Угин ПЗ (УПЗ)	ПЗ рухається у напрямі державного кордону з території України поза розкладом (без заявки) на проліт
Порушення правил використання повітряного простору (ПВПР)	ПЗ рухається згідно розкладу (заявці) на політ з порушенням правил використання повітряного простору

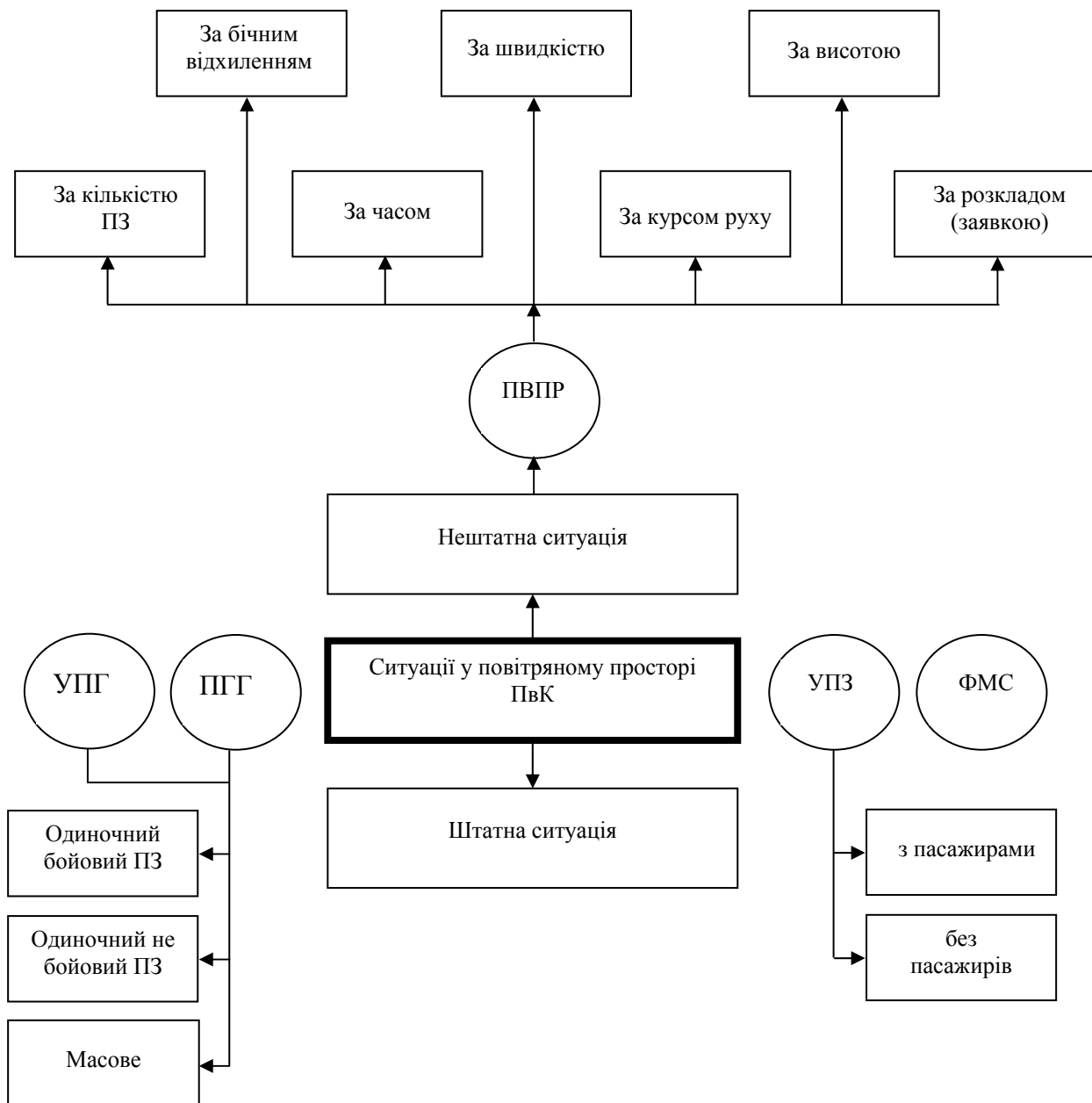


Рис. 1. Класифікація типів порушень порядку використання повітряного простору України

Запропонований метод відрізняється виявленням ступеня небезпеки ситуацій, що складаються у повітряному просторі, на основі застосування апарату нечітких множин і методу аналізу ієрархій [6].

**Метою статті** є розробка методу оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі у межах границі повітряного командування.

### Основна частина

У системах прийняття рішень реального часу, як правило, неможливо виділити елементарні властивості і ознаки, однозначно визначальні ступінь небезпеки ситуації. Тому для визначення ступеня небезпеки ситуацій пропонується використовувати метод парних порівнянь, зіставляючи кожен пар

факторів методом прямої розстановки [6]. При порівнянні елементів експерт указує, як сумарна інтенсивність переваги розподіляється між обома даними елементами.

Представимо інформацію про  $j$ -й повітряний засіб так:

$$I_j^T = \{\bar{A}_j, \bar{P}_j, t_j\},$$

де  $\bar{A}_j, \bar{P}_j$  – вектори координатних даних і ознак, що містять:

$$\bar{A}_j = \{X_j, Y_j, H_j, V_j, \psi_j\},$$

де  $Pr \Pi_j$  – ознака державної приналежності  $j$ -го ПЗ;  $t_j$  – час локації  $j$ -го ПЗ.

Інформація, що завчасно поступає від районних диспетчерських центрів, відноситься до даних диспетчерського контролю:

$$I_k^p = \{N_{zk}, \bar{A}_k^p, \bar{\Pi}_k^p, t_k^p\},$$

де  $k$  – номер ПЗ, дані про яке прогнозуються;  $N_{zk}$  – номер рейсу згідно заявки (розкладу) на політ;  $\bar{A}_k^p, \bar{\Pi}_k^p$  – вектори координатних даних і ознак  $k$ -го прогнозованого ПЗ:

$$\bar{A}_k^p = \{X_k^p, Y_k^p, H_k^p, V_k^p, \Psi_k^p\},$$

$$\bar{\Pi}_k^p = \{\text{Пр ГП}_k^p, K_k^p, t_k^p\},$$

де  $\text{Пр ГП}_k^p$  – ознака державної приналежності  $k$ -го ПЗ;  $t_k^p$  – розрахунковий час прогнозування.

Таким чином, засоби радіолокаційного та диспетчерського контролю дозволяють сформувати достатньо повну інформацію за кожним ПЗ. Проте також необхідна формалізація окремих елементів у межах відповідальності ПвК.

Суть запропонованого підходу полягає в попарному зіставленні факторів, що впливають на ситуацію, за спеціальною шкалою [7; 8].

Результати парних порівнянь представляють у вигляді матриці  $X = x_{ij}$ , де  $x_{ij}$  – відношення ваг відповідних факторів. Елементи матриці задовольняють умові антисиметричності  $x_{ij} = 1/x_{ji}$ .

Необхідно сформувати таку безліч небезпечних факторів  $M = \{m_j\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , які необхідно враховувати для своєчасного реагування особи, що приймає рішення, при зміні ситуації, де  $m_j$  – елемент цієї множини.

З цією метою проведемо експертизу. У ній експерти висловлюють свої думки про важливість елементів у вигляді нечітких бінарних стосунків нестрокої переваги елемента  $m_{j^*}$  до елемента  $m_{j^{**}}$ ,  $j^*, j^{**} = \overline{1, k}$  [5].

У результаті обробки експертизи перейдемо до бінарного відношення строгої переваги і ядра нечіткого відношення строгої переваги. Елементи функції приналежності ядра трактуються як рівні, яку не домінують, елементів множини.

Нехай  $M$  – універсальна безліч елементів. Тоді суб'єктивна думка кожного експерта  $\ell$ ,  $\ell = \overline{1, L}$ , представляє функцією приналежності  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(\ell)}(m', m'')$ ,  $m', m'' \in M$ , нечіткої підмножини  $\tilde{R}_{\geq}$  бінарних стосунків нестрокої переваги.

Кожен експерт визначає для кожної пари порівнюваних елементів ступінь переваги: «елемент  $m'$  «не гірше» елемента  $m''$ » через значення функції

приналежності  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$ . При попарному порівнянні експерти використовують умову нормування  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m')$ .

Значення  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$  приймається як суб'єктивна міра відношення  $(m', m'') \in \tilde{R}$ :

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

Для обліку ваги експертів  $K_{\ell}$ ,  $\ell = \overline{1, L}$ , матриці  $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(\ell)}$  усереднюються:

$$\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = \frac{\sum_{\ell=1}^L K_{\ell} \mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(\ell)}(m', m'')}{\sum_{\ell=1}^L K_{\ell}}. \quad (2)$$

Нехай задана матриця значень функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрокої переваги  $\left\| \mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(\ell)}(m', m'') \right\|$ :

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

При обробці результатів експертизи вираз (3) перетвориться у матрицю  $\mu_{\tilde{R}_{>}} = \left\| \mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m'') \right\|$  значень функції приналежності нечіткого бінарного відношення строгої переваги. Безліч переважних елементів  $M_f \subset M$  формується шляхом звуження безлічі  $M$  у ході визначення міри не домінування його елементів.

Елемент  $m^{(q)} \in M$  називається не домінуючим по відношенню строгої переваги, якщо серед інших елементів множини  $M$  не існує жодного такого  $m \in M$ , який був би строго переважно  $m^{(q)}$ . Підмножина не домінуючих елементів  $\{m^{(q)}\}$  складає ядро нечіткого відношення строгого відношення на  $M$ :

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

Функція приналежності  $\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m)$  ядра  $M_{\tilde{R}_{>}}$  дорівнює:

$$\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m) = \min \left[ 1 - \mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m'') \right], \forall m', m'' \in M. \quad (4)$$

За значеннями компонент функції (4) на універсальній множині  $M$  упорядковуються елементи множини  $\{m_j\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , за рівнем їх не домінування. З множини  $M$  виділяють підмножину  $M^* \in M$  най-

більш небезпечних (переважних) ознак, що впливають на визначення ситуації. Якщо  $\mu_{M_{\bar{R}_{>}}} (m) \geq 0,5$ , то безліч ознак записується як

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

Безліч факторів, що впливають на ступінь небезпеки ситуації, має вигляд:

$M = \{ \text{загроза перетину державного кордону; захоплення повітряного засобу терористом; наближення невідомого літального апарату до стратегічно важливого об'єкту; взаємини з сусідніми державами на політичній арені; кількісний склад повітряних засобів, що наближаються до державного кордону; напрям на ключові об'єкти інфраструктури і комунікацій польоту ударної групи; напрям польоту ударної групи на аеродроми; озброєна диверсія; якісний склад повітряних об'єктів, що наближаються до державного кордону; ...}.$

Значення функції приналежності нечіткого бі-

нарного відношення нестрогої ( $\mu_{M_{\bar{R}_{\geq}}} (m)$ ) і строгої ( $\mu_{M_{\bar{R}_{>}}} (m)$ ) переваги, отримані у результаті проведення експертизи і обробки експертних даних, представлені у табл. 2 і 3 відповідно.

Розрахована згідно співвідношення (4), функція  $\mu_{M_{\bar{R}_{>}}} (m)$  має вигляд:

$\mu_{M_{\bar{R}_{>}}} (m) = \| 1/\text{загроза перетину державного кордону; } 0,8/\text{захоплення повітряного засобу терористом; } 0,8/\text{наближення невідомого літального апарату до стратегічно важливого об'єкту; } 0,6/\text{взаємини з сусідніми державами на політичній арені; } 0,4/\text{кількісний склад повітряних засобів, що наближаються до державного кордону; } 0,4/\text{напрямок на ключові об'єкти інфраструктури і комунікацій польоту ударної групи; } 0,3/\text{озброєна диверсія; } 0,3/\text{якісний склад повітряних засобів, що наближаються до державного кордону; ...} \|.$

Таблиця 2

Функції приналежності нечіткого відношення нестрогої переваги небезпечних факторів (приклад)

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{14}$	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$
$\alpha_1$	1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$\alpha_2$	0,4	1	0,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
$\alpha_3$	0,3	0,3	1	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
$\alpha_4$	0,4	0,6	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$\alpha_5$	0,4	0,3	0,4	0,3	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
$\alpha_6$	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
$\alpha_7$	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	1	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
$\alpha_8$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
$\alpha_9$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
$\alpha_{10}$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
$\alpha_{15}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1	0,5
$\alpha_{16}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	1

Таблиця 3

Функції приналежності нечіткого відношення строгої переваги небезпечних факторів (приклад)

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{14}$	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$
$\alpha_1$	0	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\alpha_2$	0	0	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
$\alpha_3$	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
$\alpha_4$	0	0,2	0,4	0	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\alpha_5$	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
$\alpha_6$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
$\alpha_7$	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
$\alpha_{14}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,8
$\alpha_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Нехай рівень не домінування параметрів  $\alpha > 0,3$ . Тоді безліч небезпечних факторів, що впливають на ступінь небезпеки ситуації, розташовуються у порядку зменшення їх важливості:

$M = \{ 1/\text{загроза перетину державного кордону; } 0,8/\text{захоплення повітряного засобу терористом; } 0,8/\text{наближення невідомого літального апарату до стратегічно важливого об'єкту; } 0,6/\text{взаємини з су-}.$

сідніми державами на політичній арені; 0,4/кількісний склад повітряних засобів, що наближають до державного кордону; 0,4/напрям на ключові об'єкти інфраструктури і комунікацій польоту ударної групи}.

Таким чином, виділені фактори, що найбільшою мірою впливають на визначення ступеня небезпеки ситуації у повітряному просторі ПвК. Отримання додаткової інформації за даними факторами і облік їх значень при формуванні інформаційної моделі обстановки, що складається, дозволить особі, що приймає рішення, адекватно реагувати на розвиток ситуації в зоні відповідальності ПвК.

### Висновки

Розроблений метод оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі у межах границі повітряного командування дозволить ефективно використовувати чергові сили у разі необхідності.

### Список літератури

1. Кондратьев А. Проблемы организации авиационной поддержки операций / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – М., 2009. – № 11. – С. 32-40.
2. Повітряний кодекс України / Закон України від 19.05.2011 № 3393-VI. – Відомості Верховної Ради, 2011, № 48–49, ст. 536.
3. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: Монография / В.К. Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др.; под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.

символів і др.; под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.

4. Харук А.И. Боевая авиация XXI века: Военная энциклопедия XXI / А.И. Харук. – М., 2011. – 304 с.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский: Пер. с польск. И. Рудинского. – М., 2006. – 385 с.
6. Зуєв П.П. Пропозиції щодо удосконалення методів подання інформації при розпізнаванні ситуацій черговими силами об'єднання Повітряних Сил / П.П. Зуєв, О.О. Тимочко, О.В. Дудко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава, 2015. – Вип. 3 (35). – С. 21-24.
7. Королюк Н.О. Визначення параметрів, що впливають на вибір методу наведення винищувача на повітряну ціль / Н.О. Королюк, О.І. Тимочко, М.В. Науменко, Б.В. Бакуменко // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС, 2008. – Вип. 7(74). – С. 124-127.
8. Більчук В.М. Прийняття рішень щодо визначення перспективних зразків озброєння при нечіткому опису їх інформаційного ресурсу / В.М. Більчук // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2006. – № 4(8). – С. 124-130.

Надійшла до редколегії 5.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А.И. Тимочко, П.П. Зуев

Проведен анализ основных типов нарушений воздушными средствами контролируемого пространства государства. Результаты анализа позволили классифицировать нарушение порядка использования воздушного пространства Украины по типам. Разработан метод оценки степени опасности нештатных ситуаций в воздушном пространстве в пределах границы Воздушного командования. Предложенный метод позволит лицу, которое принимает решение, адекватно реагировать на развитие ситуации в зоне ответственности Воздушного командования.

**Ключевые слова:** воздушное пространство, нештатная ситуация, распознавание ситуации, воздушное средство.

## METHOD OF ESTIMATION OF DEGREE OF DANGER OF NONPERMANENT SITUATIONS IS IN AIR SPACE

А.І. Tymochko, P.P. Zuev

The analysis of basic types of violations is conducted by air facilities of the controlled space of the state. The results of analysis allowed to classify disturbing the use of air space of Ukraine after types. The method of estimation of degree of danger of nonpermanent situations is developed in air space within the limits of border of the Air command. The offered method will allow a person which makes a decision, it is adequate to react on development of situation in the area of responsibility of the Air command.

**Keywords:** air space, nonpermanent situation, recognition of situation, air mean.