

УДК 629.7.07

В.П. Харченко, д-р техн. наук, проф.
В.А. Лазоренко, асист.

СИСТЕМИ ПІДТРИМАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАЦІЙНИХ ДИСПЕТЧЕРІВ ПІД ЧАС УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Визначено основні тенденції розвитку автоматизованих систем управління повітряним рухом. Проведено аналіз процесу прийняття та підтримки рішень. Розглянуто перспективи вдосконалення систем підтримання прийняття рішень.

Main tendencies of development of air traffic control automated systems are determined. Decision-making and decision support processes have been analyzed. Prospect of decision support systems development have been reviewed.

Постанова проблеми

Діяльність авіаційного диспетчера пов'язана з постійним процесом прийняття рішень (ПР). Виходом диспетчерського дозволу, виконання процедур, рішення потенційно конфліктних ситуацій або дій в особливих випадках мають різний ступінь складності процесу прийняття рішень. Кожне рішення, прийняте авіаційним диспетчером, має бути адекватним ситуації, яка виникла, та відповідати критерію безпеки польотів.

Безпека польотів як головний елемент забезпечення обслуговування повітряного руху (ОПР) залежить від якості процесу ПР авіаційними диспетчерами. Стрімке зростання інтенсивності повітряного руху призводить до збільшення навантаження на диспетчера, тим самим викликає дефіцит часу на прийняття правильного рішення і, як наслідок, спричиняє порушення безпеки польотів [1].

Автоматизація процесів управління повітряним рухом зменшує навантаженість авіаційного диспетчера. Рівень безпеки під час використання автоматизованих систем залишається на рівні відповідних вимог із забезпечення безпеки польотів. Ураховуючи, що темпи розвитку автоматизованих систем управління повітряним рухом незначні порівняно з темпами зростання інтенсивності повітряного руху, слід приділити увагу вдосконаленню цих систем.

Прийняття рішень авіаційним диспетчером під час управління повітряним рухом

Процес ПР авіаційним диспетчером можна подати у вигляді послідовності таких етапів:

- отримання інформації;
- сприйняття інформації;
- прийняття рішення;
- передача результативної інформації.

На першому етапі процесу ПР відбувається отримання інформації слуховим або зоровим каналом людини, тобто радіомовним шляхом (до-

повідь

з борту повітряного корабля, суміжних диспетчерських пунктів та ін.) або візуально (моніторинг радіолокаційної ситуації).

Другий етап процесу ПР передбачає сприйняття інформації авіаційним диспетчером (реакція психофізіологічної системи організму), постановку завдання, визначення пріоритетів його виконання та рівень складності.

На третьому етапі вибирається рішення, найбільш прийнятне в цій ситуації, формується критерій результату. Всі варіанти вирішення завдання перевіряються на відповідність обраному критерію. Якщо варіантів вирішення завдання, які відповідають критерію, декілька, то вибір варіанта відбувається за найбільшим показником рівня забезпечення безпеки польотів.

Заключний етап процесу ПР – реалізація вибраного варіанта вирішення завдання (команда командирів повітряного корабля, запит потрібної інформації, уведення і корегування даних радіолокаційної інформації, змішані дії та ін.).

Формалізація процесу прийняття рішення авіаційним диспетчером

У найзагальнішій формі проблема ПР може бути охарактеризована сукупністю елементів [2]:

$$F = f\{E, G, C, A, R, T, H\}, \quad (1)$$

де E – середовище завдання ПР;

G – цілі особи, що приймає рішення;

C – критерії, що характеризують вимоги до бажаного стану;

A – альтернативні рішення, які можуть бути прийняті;

R – правила вибору рішення, які можуть бути використані;

T – потрібна для цього класу завдань інформація;

H – особливості особи, що приймає рішення.

Елементи процесу ПР не є постійними величинами. Характер елементів змінюється в певному діапазоні значень.

Миттєве постійне значення може бути виражене як множини станів елементів (1) [2]:

$$F=f\{e\},\{g\},\{c\},\{a\},\{r\},\{t\},\{h\},$$

де e, g, c, a, r, t, h – значення i -го елемента в певний момент часу.

Кожен з елементів впливає на процес ПР окремо. Комбінація елементів породжує безліч варіантів процесу ПР та відповідно варіантів результативних рішень.

Схематично етапи й елементи ПР можна відобразити, як показано на рис. 1.

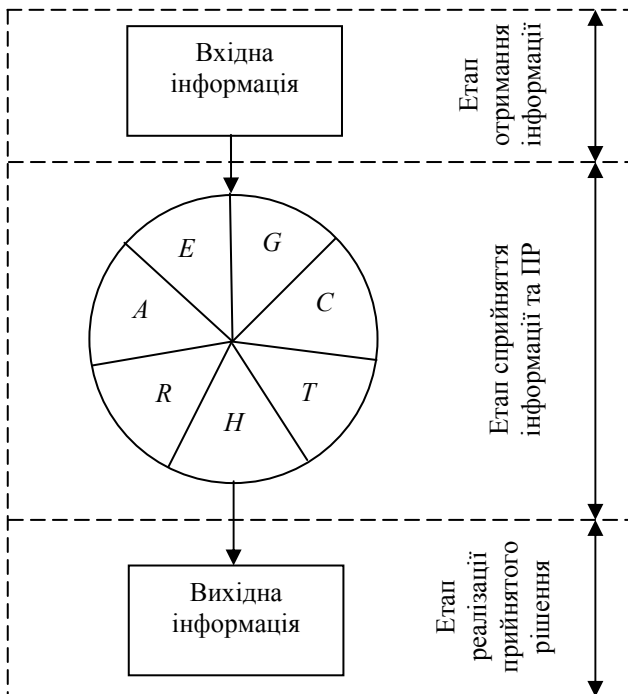


Рис. 1. Етапи й елементи процесу ПР

Наведена структура етапів та елементів надає змогу поглиблено вивчати сам процес ПР. Розробка типових алгоритмів та схем процесу ПР має стати підґрунтям до створення штучного інтелекту.

Загальна структура процесу прийняття рішення

Усі оптимізаційні завдання мають загальну структуру. Їх можна класифікувати як завдання мінімізації (максимізації) M -векторного показника ефективності $W_m(x)$, $m = 1, 2, \dots, M$; N -вимірного векторного аргумента $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, компоненти якого задовольняють систему обмежень

рівностей $h_k(x) = 0, k=1, 2, \dots, K$, обмежень-нерівностей $g_j(x) > 0, j = 1, 2, \dots, J$, обласним обмеженням $x_{li} < x_i < x_{ui}, i = 1, 2, \dots, N$.

Усі завдання прийняття оптимальних рішень можна класифікувати відповідно до виду функцій, розмірностей $W_m(x), h_k(x), g_j(x)$ і змісту вектора x :

- одноцільове ПР: $W_m(x)$ – скаляр;
- багатоцільове ПР: $W_m(x)$ – вектор;
- прийняття рішень в умовах визначеності;
- прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності.

Логіко-психологічну структуру процесу ПР авіаційними диспетчерами подамо у вигляді орієнтованого графа [2]:

$$G(H, w),$$

де H – сукупність етапів процесу ПР;

w – безліч існуючих відображень ($H_i \rightarrow H_j; i, j = 1, 2, \dots, i \neq j$).

Отже, побудуємо таблицю формального подання та відповідної характеристики етапів ПР (див. таблицю).

Опис етапів ПР авіаційними диспетчерами

Формальне подання етапу ПР	Характеристика етапу ПР
$w_1: H_1 \rightarrow H_2$	Формування інформаційної моделі динамічної повітряної ситуації на засобах відображення інформації
$w_2: H_2 \rightarrow H_3$	Сприйняття інформаційної моделі динамічної повітряної ситуації
$w_3: H_3 \rightarrow H_4$	Розпізнання класу ситуації
$w_4: H_4 \rightarrow H_5$	Формування концептуальної моделі ситуації
$w_5: H_5 \rightarrow H_6$	Перехід до ПР
$w_6: H_6 \rightarrow H_7$	Визначення цілей і критеріїв ПР
$w_7: H_7 \rightarrow H_8$	Затвердження рішення і перехід до реалізації цього рішення
$w_8: H_8 \rightarrow H_1$	Реалізація прийнятого рішення і перехід до аналізу динамічної повітряної ситуації

Детальний опис етапів ПР авіаційними диспетчерами дає змогу виявити роль і сферу діяльності диспетчера в самому процесі ПР (рис. 2).

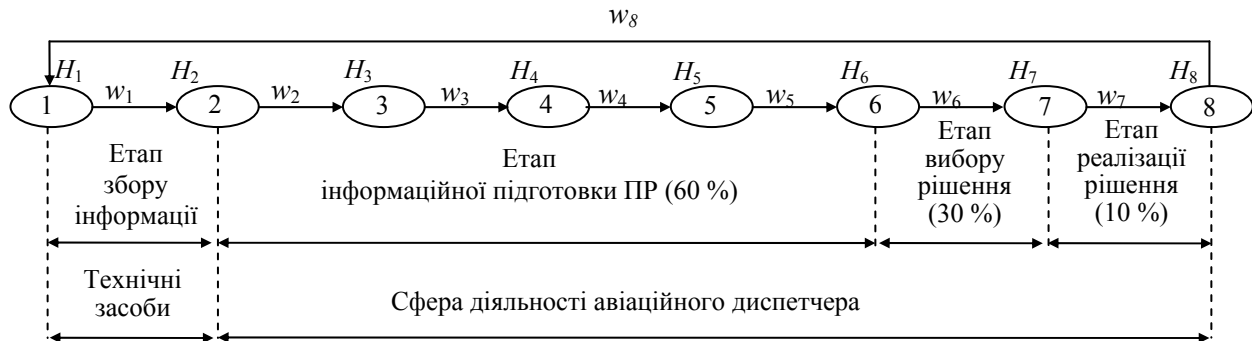


Рис. 2. Типовий граф алгоритму ПР авіаційним диспетчером

Теорія графів дозволяє визначити найдоцільніші способи вирішення завдань з найменшими затратами часу.

Один із критеріїв очікуваного результату роботи штучного інтелекту – це саме доцільність шляху вирішення завдань. Затрати часу на вирішення завдань у пріоритетній таблиці мають стояти на другому місці.

Математична постановка завдання прийняття рішення

Під час вирішення завдання ПР досліджується система, надалі під якою розумітимемо сукупність об'єктів, що характеризуються деякими показниками. Усі ці показники або параметри підрозділяються насамперед на вхідні й вихідні [3]. До вихідних показників системи y_i відносяться такі показники:

- якість інформації;
- продуктивність;
- кількість.

Параметри, які можна змінити відповідно до нашого бажання, позначають u_1, u_2, \dots, u_m і називають вхідними впливами (рис. 3).

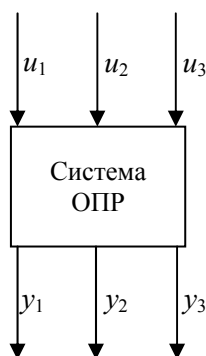


Рис. 3. Система, яку досліджують із вхідними та вихідними параметрами

– характеристика засобів управління повітряним рухом;

– особливості людини-оператора.

Вибір тих або інших величин u_i і є вирішенням завдання ПР.

Оператор, який відображає залежність вихідних параметрів y від вхідних керувальних параметрів u , називається моделлю

$$b = f(u).$$

Математична модель являє собою математичну залежність, що дозволяє без експериментів, знаючи керівні впливи, визначити вихідні параметри.

Після того, як рішення ухвалено, його треба охарактеризувати чисельно.

Для цього вводиться цільова функція, що дозволяє чисельно оцінити наскільки ухвалене рішення прийнятне. Ця функція залежить від вхідних і вихідних параметрів і позначається як

$$Q = Q(u, y).$$

Оскільки вихідні параметри y можна виразити через вхідні u , що часто й роблять, то тоді цільова функція буде залежати тільки від керівних показників:

$$- Q = Q(u).$$

Тому завдання полягає у знаходженні таких керувань u (або таких рішень u), за яких цільова

функція досягла б свого мінімального (максимального) значення.

Приймаючи різні рішення, обчислюють відповідно до них за моделлю (2) значення вихідної змінної y , а потім цільової функції Q . Після цього серед усіх ухвалених рішень шукається таке рішення u , за якого значення Q буде найкращим. Варіювати значеннями керівних змінних u можна тільки в певних межах.

Отже, завдання полягає в тому, щоб знайти такі керування з області припустимих U , за яких будуть виконані технологічні обмеження, а цільова функція набуде мінімального значення. Математично це завдання записують у такий спосіб: потрібно взяти таке рішення u^* , що належить області припустимих рішень, $u^* \in U$, за якого цільова функція досягає свого мінімального значення

$$Q(u^*) = \min Q(u, y)$$

$u \in U$

і виконуються зв'язки, обумовлені математичною моделлю, а також обмеження у вигляді нерівностей $\varphi_i(u) \leq 0, i = 1, k$, якими задаються технологічні обмеження.

У деяких завданнях зв'язків може не бути, тоді потрібно знайти таке $u^* \in U$, що

$$Q(u^*) = \min Q(u, y)$$

$u \in U$

у разі виконання обмеження

$$\varphi_i(u) \leq 0, i = 1, k.$$

Керівні змінні, які задовольняють вимоги

$u \in U$ і $\varphi_i(u) \leq 0$, називають припустимими рішеннями. Всі інші рішення неприпустимі.

Припустиме рішення u^* , за якого цільова функція мінімальна, називають оптимальним рішенням.

На практиці інколи знаходять не оптимальне, а припустиме рішення, тобто рішення, що задовольняє систему обмежень. У цьому випадку завдання ставиться в такий спосіб: знайти такі $u^* \in U$, за яких $\varphi_i(u) \leq 0, i = 1, k$. Такі завдання можуть мати не єдине рішення.

Особливості людини-оператора і програми під час прийняття рішення

Натепер проводяться численні дослідження, присвячені впливу людини на ефективність ПР в автоматизованих системах реального часу, наприклад, автоматизовані системи ОНР. Вивчаються питання розподілу функцій обробки інформації й прийняття рішень між програмою та оператором.

ми, алгоритмізації розумових процесів з метою виключення людини з контуру керування й заміни його обчислювальними засобами [3].

Підсумок цих досліджень на цьому етапі такий: на сучасному рівні пізнання розумових процесів і розвитку технологічної бази програм людину не можна усунути з процесу керування.

До переваг людини можна віднести:

- можливість переборювати невизначеності, що виникають під час ПР;
- уміння вирішувати нестандартні ситуації;
- гнучкість підходу до формулювання цілей і завдань керування;
- відповідальність за результати функціонування системи.

У той же час участь людини-оператора у процесі керування пов'язана з такими чинниками:

- більшими тимчасовими затримками;
- низькою продуктивністю;
- залежністю якості вирішення завдань від психофізіологічних особливостей стану оператора й рівня його навченості.

Інформаційна взаємодія людини-оператора і програми під час прийняття рішення

Можливі варіанти інформаційної взаємодії оператора й програми:

- програма як консультант (програма збирає, систематизує й подає дані, оператор виконує функцію ПР);
- програма як помічник (програмою передають інформаційні, обчислювальні й оцінні функції, варіанти рішень виробляє оператор, але їх кількісне оцінювання довіряється програмі);
- програма як соратник (рис. 4).

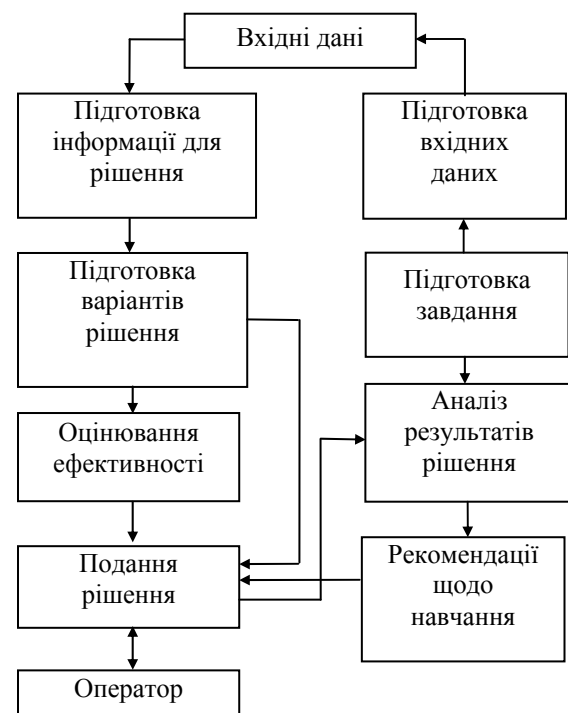


Рис. 4. Типова схема роботи електронного соратника

Основний режим системи – автоматичний. Оператор контролює хід керованого процесу й може включитися у процес керування на будь-якому етапі для рішення, наприклад, нестандартних ситуацій. Система має ознаки штучного інтелекту, тому що може самонавчатися.

Перспективні системи зі штучним інтелектом мають за основу схему роботи електронного соратника. Розвиток системи електронного соратника до системи штучного інтелекту залежить від якості виконання елемента забезпечення самонавчання системи.

У Сполучених Штатах Америки успішно розробляють автоматизовані системи зі штучним інтелектом, наприклад, такі системи, як AERA (версії 1, 2, 3), UFA, ARP та ін. Найуспішнішими системами є ті, які сумістили елементи тренажерної підготовки та автоматизованих систем.

Усунення людини-оператора з процесу управління повітряним рухом можливе лише за наявності штучного інтелекту в автоматизованих системах. Роль людини-оператора в цьому випадку зводиться до нагляду за виконанням системою операцій з управління повітряним рухом.

Самонавчання системи забезпечить безперешкодний розвиток та відповідність існуючим стандартам ОПП.

Удосконалення процесу прийняття рішень

Застосування принципів штучного інтелекту в системах ПР створює умови для максимального використання творчих здібностей людини за рахунок:

- мінімізації кількості виконуваних рутинних операцій;
- можливості використати досвід фахівців із рішення проблемних ситуацій;
- взаємної адаптації оператора й персонального комп'ютера в умовах перемінної діяльності.

На сучасному етапі розвитку систем зі штучним інтелектом є три способи вдосконалення інформаційної взаємодії оператора й персонального комп'ютера під час ПР:

- автоматизація процесу підготовки рішень у конфліктних ситуаціях на основі використання

експертної інформації, накопиченої у процесі експлуатації системи;

- оптимізація інформаційної взаємодії оператора й персонального комп'ютера за рахунок синтезу адаптивних інформаційних моделей, що забезпечують оптимальні умови сприйняття й обробки інформації оператором під час рішення конкретних завдань у конкретних умовах (об'єкти адаптації – літака, вертольота, корабля, літака);

- зменшення часу виводу інформації під час обміну інформацією між оператором і персональним комп'ютером на основі використання засобів штучного інтелекту (аналізу, розпізнавання й синтезу мови, псевдографіка – збільшення часу безпосередньо на ПР).

Експертні системи

Експертна система (ЕС) являє собою комплекс технічних засобів (програмного й апаратного забезпечення), призначеного для виконання функцій оператора у ситуаціях, що вимагає прийняття кваліфікованих рішень [4].

Мета ЕС – створення програми, що під час рішення завдань досягає якості й ефективності рішень, одержуваних кваліфікованим екпертом.

Для функціонування ЕС потрібно (рис. 5):

- одержання знань від експертів;
- організація знань;
- видача знань користувачеві за його запитом.

За потреби ЕС може давати пояснення.

Особливостями ЕС є:

- вузька область експертизи;
- обмежений склад використовуваних знань;
- обмежені й стандартизовані процедури висновку (пояснення);
- проблеми отримання знань від декількох експертів.

Експертні системи мають великі перспективи застосування в автоматизованих системах управління повітряним рухом. Наявність постійно поповнюваної бази знань дає широкий спектр розвитку системи.

Існуючі методи вирішення завдань, використовувани в ЕС, можна класифікувати у такий спосіб:

- методи пошуку в одному просторі призначені для використання в таких умовах: області невеликої розмірності, повнота моделі, точні й повні дані;
- методи пошуку в ієрархічних просторах призначені для роботи в областях великої розмірності;
- методи пошуку у разі неточних і неповних даних;

– методи пошуку, що використовують кілька моделей, призначені для роботи з областями, для адекватного опису яких однієї моделі недостатньо. Усі ці методи у разі потреби мають поєднуватися, щоб дозволити вирішувати завдання, складність яких зростає одночасно за декількома параметрами.

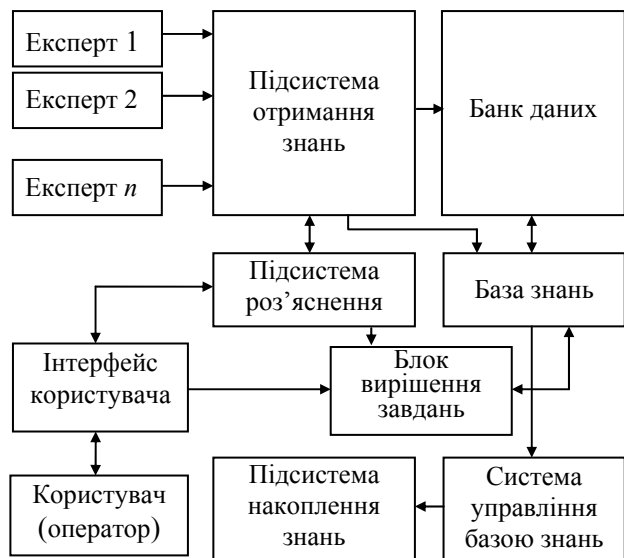


Рис.5. Типова структурна схема експертних систем

Системи підтримання прийняття рішень

Мета системи підтримання ПР – надання кваліфікованої допомоги оператору під час вирішення завдань будь-якої складності. Ключову роль у забезпеченні допомоги оператору відіграє система розробки завдань, яка працює, ґрунтуючись на даних з бази знань та ситуаційної бази даних (рис. 6) [4].

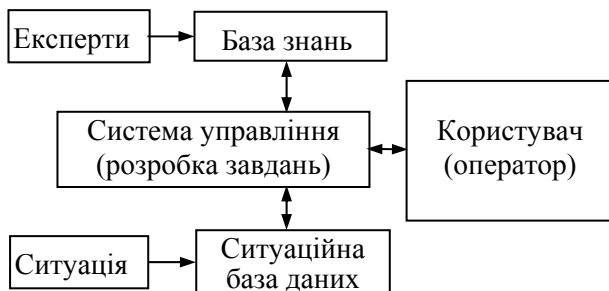


Рис. 6. Структурна схема систем підтримання ПР

Для застосування системи підтримання ПР характерні такі особливості:

- переважне використання на тих рівнях керування, де розглядаються складні конфліктні ситуації;
- прагнення сполучити сформовані практичні методи організації ПР із теоретичними рекомендаціями щодо цього;
- використання методів, що забезпечують доступ до системи підтримання ПР непрофесійних користувачів;

– гнучкість і адаптивність;
– здатність реалізації на базі існуючих мікропроцесорних систем.

На відміну від ЕС, системи підтримання ПР працюють в реальному часі та забезпечують оперативне вирішення завдань.

Розширення системи підтримання ПР, передбачає використання нових, нетрадиційних областей, аналітичних методів і, зокрема, багатокритеріальний аналіз.

Висновки

Отже, основне завдання систем підтримання ПР – надання допомоги людині-оператору у визначенні доцільного способу дій під час керування технологічними об'єктами або процесами в умовах дефіциту часу на ПР, неповноти або невірності інформації.

Експертні системи і системи підтримання ПР мають загальні цілі – надання користувачеві основи, потрібної для ПР.

Розвиток систем з ознаками штучного інтелекту та систем з базами знань є досить перспективний. Приділення уваги вдосконаленню систем підтримки ПР надасть оператору більшу спроможність в забезпеченні безпеки польотів під час

управління повітряним рухом. За стійкої тенденції розвитку систем підтримання ПР надійність системи ОПП залишатиметься на високому рівні. Постійне вдосконалення систем підтримання ПР збільшує вірогідність появи штучного інтелекту в автоматизованих системах управління повітряним рухом.

Література

1. Бодров В.И., Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Математические методы принятия решения: Учеб. пособие. – Тамбов: ТГТУ, 2004.
2. Чинченко Ю.В. Модели и алгоритмы управления уровнем готовности авиадиспетчера к действиям в кризисных ситуациях: дис... канд. техн. наук: 05.13.06. – К.: НТУ, 2004. – 227 с.
3. Савченко О.В., Трубецкой А.И. Последовательность оценивания эффективности систем координирования распределенных вычислений // Информация и Космос. – 2005. – № 3.
4. Stroeve S.H., Ypma A. Eurocontrol National Aerospace Laboratory / Doc “Neural network-based recognition and diagnosis of safety-critical events”. – NLR CR, 2004. – 501 с.

Стаття надійшла до редакції 20.12.07.