

УДК 004.9

д-р техн. наук, професор Пількевич І. А. ORCID: 0000-0001-5064-3272 (ЖВІ ім. С. П. Корольова)

Лобода Р. І. ORCID: 0000-0003-4010-0252 (ЖВІ ім. С. П. Корольова)

Мірошніченко С. І. ORCID: 0009-0007-2076-041X (ЖВІ ім. С. П. Корольова)

Остапчук Т. В. ORCID: 0009-0003-6689-3884 (ВІКНУ ім. Тараса Шевченка)

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕШИФРУВАЛЬНИКА ПУНКТУ ДИСТАНЦІЙНОГО ПІЛОТУВАННЯ

В умовах збройної агресії з боку російської федерації проти України, яка переросла у повномасштабне військове вторгнення 24 лютого 2022 року, виникає найбільша загроза національній безпеці, оскільки мова йде про знищення української державності. Як засвідчив досвід підготовки та проведення розвідувальних операцій Збройними силами України під час широкомасштабного вторгнення збройних сил російської федерації на територію нашої держави, застосування безпілотних літальних апаратів I класу засвідчило ефективність їх використання, що актуалізувало питання підвищення ефективності збору розвідувальної інформації за їхньою допомогою.

Ключову роль в роботі безпілотного літального апарата першого класу відіграє дешифрувальник дистанційної пілотажної станції. Від його ефективності залежить якість роботи засобів повітряної розвідки. У статті розглянуто основні показники надійності оператора людино-машинної системи. Проведено аналіз існуючих методів контролю оператора людино-машинної системи, який показує, що показник його працездатності не вимірюється, а визначається шляхом моніторингу його функціонального стану з подальшою оцінкою показників працездатності.

Виходячи з результатів аналізу, встановлено, що застосування теорії нечітких множин та згортки за нелінійною схемою компромісу в задачах оцінки ефективності людино-машинних систем надає змогу ідентифікувати стан надійності дешифратора пункту дистанційного пілотування в реальному часі з урахуванням працездатності людини та ефективності роботи обладнання.

Розроблено інформаційну систему оцінювання надійності дешифрувальника пункту дистанційного пілотування, в основу якої покладена узагальнена математична модель у вигляді багаторівневого ієрархічного дерева логічного висновку, що відображає класифікацію показників та проміжні оцінки. Корінь дерева відповідає результату оцінювання, а вершина оцінювання – показникам надійності пункту дистанційного пілотування. Сам процес ґрунтується на математичному апараті нечіткої логіки та здійснюється з використанням доступної експертної інформації у вигляді логічних правил “ЯКЩО – ТО”, що пов'язують нечіткі терми показників надійності пункту дистанційного пілотування і результат оцінювання.

Надійність отриманих даних досягається шляхом формування нечіткої бази знань з використанням нечітких термів, які враховують специфіку процесу отримання розвідувальної інформації на віддалених пунктах пілотування.

Ключові слова: повітряна розвідка; безпілотні авіаційні комплекси; дешифрувальник; розвідувальна інформація; ефективність функціонування; віддалений пункт пілотування.

I. Pilkevyc, R. Loboda, S. Miroshnichenko, T. Ostapchuk Information system for assessing reliability a decoder remote piloting station.

Under conditions of armed aggression by Russia against Ukraine, which escalated into a full-scale military invasion on February 24, 2022, national security is facing the greatest threat, as it is about destroying Ukrainian statehood. As experience in preparing and conducting intelligence operations by the Armed Forces of Ukraine during the large-scale invasion by the armed forces of the Russian Federation into your country has shown, using class I unmanned aerial vehicles has proven their effectiveness, which has raised issues of improving intelligence gathering with their help.

A key role in the operations of a first-class unmanned aerial vehicle is played by a remote pilot station decoder. Quality operation of airborne reconnaissance assets depends on its efficiency. The article considers main reliability indicators of a human-machine system operator. The analysis results of the existing methods for controlling the human-machine system operator, which shows that indicators of his performance are not measured, but are determined by monitoring his functional state with further evaluation of performance indicators.

Based on results of the analysis, it was found that using fuzzy set theory and convolution according to a nonlinear trade-off scheme in tasks of evaluating efficiency of human-machine systems makes it possible to identify reliability status of a remote piloting station decoder in real time, taking into account human performance and equipment efficiency.

The article develops an information system for assessing the reliability of a remote piloting station decoder based on a generalized mathematical model in the form of a multilevel hierarchical tree of logical inference that reflects

classification of indicators and intermediate estimates. The roots of the trees correspond to evaluation results, and tops correspond to reliability indicators of a remote piloting point. This process is based on mathematical apparatus of fuzzy logic and is carried out using available expert information in form of logical rules "IF - THEN" that link fuzzy terms of remote piloting point reliability indicators and the assessment result.

Reliability of the obtained data is achieved by forming a fuzzy knowledge base using fuzzy terms that take into account specifics of process obtaining intelligence information at remote piloting points.

Keywords: *aerial reconnaissance; unmanned aerial systems; decoder; intelligence information; performance; remote piloting point.*

Загальна постановка задачі. Аналіз організації та проведення операцій з добування розвідувальної інформації Збройними силами України у контексті широкомасштабного вторгнення збройних сил російської федерації в Україну, ілюструє високу ефективність застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) І класу [1].

БпАК І класу спроможні за короткий проміжок часу оглянути значну територію та оперативно передати здобуту інформацію. Під час обробки та аналізу матеріалів повітряної розвідки (ПР) головним є дешифрувальник, оскільки основне навантаження покладається саме на нього. Великий обсяг матеріалів ПР за умови швидкої зміни обстановки, складність виявлення та розпізнавання нових зразків озброєння і військової техніки спричиняє зниження рівня оперативності й достовірності виявлення та розпізнавання об'єктів дешифрувальником. Актуальним напрямком у вирішенні проблеми підвищення ефективності добування розвідувальної інформації (РІ) за допомогою БпАК є розроблення інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника пункту дистанційного пілотування.

На надійність дешифрувальників пункту дистанційного пілотування (ПДП) впливають як його працездатність так і ефективність функціонування апаратури БпАК. Так як головне завдання ПДП це добування РІ шляхом спостереження та аналізу фотозображень в системі БпАК, то узагальнюючим показником ефективності функціонування системи розпізнавання зображення ПДП було обрано контрастність фотозображень, що сприймаються дешифрувальником з екрана ПДП [1]. Обраний показник дасть змогу врахувати технічний стан ПДП та умови приймання фотозображення, а також визначити вплив контрастності фотозображень на надійність дешифрувальника ПДП.

Таким чином для проведення оцінювання надійності дешифрувальника ПДП необхідно: обґрунтувати комплексний показник надійності дешифрувальника ПДП;

вибрати та обґрунтувати показники, за якими буде здійснюватися контроль функціонального стану (ФС) дешифрувальника;

розробити інформаційну систему оцінювання надійності дешифрувальника ПДП за вектором вимірних показників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Станом на сьогодні відсутній уніфікований методологічний підхід до формалізації так званих структурних помилок, ідентифікованих за допомогою методів статичного відлагодження, таких як надмірність, неповнота та суперечливість. Саме тому статично коректні бази знань не гарантують якості прийнятих рішень за рахунок помилок в самих знаннях, часто пов'язаних зі складністю окремої предметної області, що, наприклад, допускає дублювання логіки міркувань [6].

У [7] розглянуто інформаційний підхід до оцінки оперативно-технічних можливостей видових засобів розвідки, який ураховує не тільки просторове розрізнення засобу, але і його градаційні властивості. Запропоновано підхід, основою якого є використання критерію Джонсона, що дозволяє кількісно порівнювати межові зображувальні властивості видових засобів, які використовують однаковий набір розпізнавальних ознак. При цьому науковці під час розпізнавання зображення враховували наступні характеристики – яскравість, контрастність, роздільна здатність, інтервал оптичної щільності (фотографічна ширина), колірна гама, палітра, глибина кольору, насиченість кольору, а також просторова щільність [8]. Однак в жодній з цих робіт не врахована надійність роботи дешифрувальника ПДП.

Автори [9–11] розробили алгоритми оцінювання, методика та структуру комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА). На основі проведених досліджень розробили та налагодили апаратно-програмний комплекс, впровадження якого дозволить автоматизувати процес оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА, тим самим підвищити якість їх професійного психологічного відбору для потреб ЗС України. Однак автори залишили поза увагою питання впливу надійності дешифрувальника ПДП як оператора людино-машинної системи.

Метою статті є аналіз існуючих підходів до оцінювання людино-машинних систем та розробка інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника ПДП.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до ДСТУ 2860–94 Надійність техніки. Терміни та визначення (ДСТУ 2860–94), надійність це властивість об'єкта зберігати в часі у визначених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Це визначення поширюється на будь-які технічні об'єкти. Для врахування людського фактора в системі машина-оператор, коли не всі властивості можуть бути охарактеризовані кількісно, ДСТУ 2860–94 визначає поняття надійності, як властивість об'єкта зберігати в часі здатність до виконання необхідних функцій в заданих режимах та умовах застосування [2]. Вибір показників та методів розрахунку надійності здійснюється відповідно до ДСТУ 2861–94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення (ДСТУ 2861–94), залежно від виду об'єкта [3]. Види об'єктів, в свою чергу, встановлюються ДСТУ 2863–94 Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги (далі – ДСТУ 2863–94), відповідно до якого пункт ПДП, як людино-машинну систему, віднесемо до об'єктів виду II, які можуть знаходитися в проміжних станах працездатності та мають основний варіант застосування за призначенням [4]. Для таких об'єктів ДСТУ 2861–94 та ДСТУ 2863–94 визначає комплексний показник надійності K_e – коефіцієнт зниження ефективності, який ставить кожному стану об'єкта певне значення міри зниження номінальної ефективності від 0 до 1. Крім того, вказаний показник надійності, зручно використовувати при розрахунках показників ефективності ПДП в довільний момент часу, так як він показує міру зниження ефективності добування РІ через погіршення надійності дешифрувальника ПДП: $K_e = 1 - \frac{A_p}{A_{ном}}$, де A_p – реальна ефективність добування РІ в ПДП в довільний момент часу, $A_{ном}$ – номінальна ефективність добування РІ у ПДП, за умови оптимального стану дешифрувальника та ефективного функціонування апаратури ПДП.

Таким чином, вихідним параметром інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника ПДП повинен бути коефіцієнт зниження ефективності – K_e , який враховує обидві складові людино-машинної системи, тобто зниження працездатності дешифрувальника і погіршення ефективності функціонування апаратури ПДП. Як було відмічено [1], ефективність функціонування системи розпізнавання зображення можна оцінювати показником розпізнавання фотозображень, що сприймаються дешифрувальником на екрані ПДП – K_p . Це дасть змогу врахувати технічний стан засобу відображення цільової інформації БпЛА та умови приймання відеосигналу, а також визначити вплив контрастності зображення на надійність дешифрувальника ПДП під час добування РІ шляхом пошуку, спостереження та аналізу зображень, що передаються БпЛА в реальному часі.

Основний напрям визначення надійності людино-машинних систем пов'язаний з оцінкою ФС оператора шляхом розрахунку узагальненого показника за вхідним вектором частинних показників з використанням різного виду згорток [5]. Застосування згорток вимагає знання чітких кількісних меж показників та їх оптимальних значень. В умовах індивідуального характеру та варіативності психологічних, фізіологічних і професійних можливостей та характеристик людини-оператора, його чутливості до впливу факторів зовнішнього та внутрішнього середовища визначення вказаних характеристик ускладнено та може привести

до значних похибок у визначенні рівня працездатності дешифрувальника [6]. Крім того, такий підхід не враховує ефективність функціонування техніки.

Таким чином, актуально постає питання розробки інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника ПДП, з врахуванням вибраних параметрів, що характеризують ФС людини та ефективність функціонування апаратури, яка дозволить виявляти момент зниження надійності та попередити погіршення своєчасності і повноти добування РІ на ПДП. У такій постановці, завдання з оцінювання надійності зводиться до задачі ідентифікації ФС дешифрувальника та визначення розпізнавання зображень.

Під ідентифікацією ФС дешифрувальника ПДП будемо розуміти встановлення взаємозв'язку між вектором показників, отриманих інформаційно-вимірювальною системою в процесі чергування, і станом працездатності дешифрувальника з подальшим розрахунком рівня його надійності.

На рис. 1 представлена контекстна діаграма інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника ПДП.

За показники ФС дешифрувальника ПДП було обрано такі характеристики: частота серцевих скорочень – X_1 ; стабільність серцевих скорочень – X_2 ; опір шкіри – X_3 ; температура тіла – X_4 . Додаткові характеристики, що впливають на ефективність дешифрувальника, але не належать до його ФС: температура зовнішнього середовища – X_5 ; час доби – X_6 ; час безперервної роботи – X_7 .

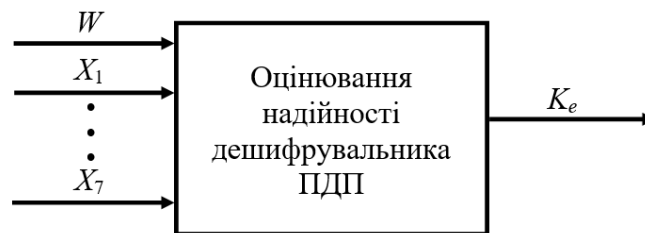


Рис. 1. Контекстна діаграма інформаційної системи

Для врахування впливу технічного стану засобу відеозображення на надійність дешифрувальника ПДП на вхід інформаційної системи надходить інформація про контрастність зображення W .

У зв'язку з індивідуальним характером, відсутністю чітких кількісних меж змін вхідних показників пропонуємо для ідентифікації ФС дешифрувальника ПДП за вибраними показниками використовувати теорію нечіткої логіки, а саме метод, суть якого полягає в проєктуванні та налаштуванні нечіткої бази знань, яка є сукупністю лінгвістичних висловлювань $YK_{\text{ЩО}}_{\text{вх}} - TO_{\text{вих}}$. Основна ідея полягає в тому, що налаштувавши нечітку базу знань можна виявити нелінійні залежності з необхідною точністю [7]. Для оцінювання надійності дешифрувальника необхідно побудувати математичну модель, яка встановлює взаємозв'язок між вхідними змінними (виміряні значення фізіологічних показників та зовнішнього середовища) та вихідними змінними (станом працездатності). Для побудови математичної моделі необхідно:

- сформулювати матрицю знань;
- отримати нечіткі логічні рівняння;
- визначити функції належності.

Відомо, що основним інструментом нечіткої логіки, яка дозволяє перетворити експертні знання “ЯКЩО-ТО” у жорсткі математичні моделі, є функція належності (ФН) [7]. Для даної задачі, вона характеризує ступінь впевненості експерта в тому, що деяка величина належить нечіткому поняттю (терму).

Методи апарата нечіткої логіки дозволяють зв'язати ФН показників ФС дешифрувальника зі станом працездатності останнього у вигляді правил “ЯКЩО-ТО” на основі нечіткого логічного висновку.

Отже, результат ідентифікації ФС дешифрувальника можна представити у вигляді:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – набір значень вхідних показників ФС дешифрувальника;

y – результат ідентифікації ФС.

З метою встановлення залежності (1) необхідно розглядати вхідні показники ФС дешифрувальника і вихідне рішення щодо стану працездатності, в якому знаходиться дешифрувальник, як лінгвістичні змінні, що задані на універсальних множинах:

$$X_i = [\underline{x}_i, \overline{x}_i], \quad (2)$$

$$Y = [\underline{y}, \overline{y}]. \quad (3)$$

Для оцінювання таких лінгвістичних змінних пропонується використовувати якісні терми, що складають терм-множину:

$$A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{k_i}\} - \text{терм-множина змінної } x_i, i = \overline{1, n};$$

$$D_j = \{d_1, d_2, \dots, d_m\} - \text{терм-множина змінної } y,$$

де a_i^p – p -й лінгвістичний терм змінної x_i , $p = \overline{1, k_i}$, $i = \overline{1, n}$;

d_j – j -й лінгвістичний терм змінної y ;

m – число різних рішень.

Назви термів $a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{k_i}$ можуть відрізнятися для різних лінгвістичних змінних x_i , $i = \overline{1, n}$.

Лінгвістичні терми $a_i^p \in A_i$ і $d_j \in D$, $p = \overline{1, k_i}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ необхідно розглядати як нечіткі множини задані на універсальних множинах X, Y за допомогою виразів (2) і (3).

Нечіткі множини a_i^p і d_j визначаються співвідношеннями:

$$a_i^p = \int_{\underline{x}_i}^{\overline{x}_i} \mu^{a_i^p}(x_i) / x_i; \quad (4)$$

$$d_j = \int_{\underline{d}}^{\overline{d}} \mu^{d_j}(d) / d, \quad (5)$$

де $\mu^{a_i^p}(x_i)$ – ФН значення змінної $x_i \in [\underline{x}, \overline{x}]$, $i = \overline{1, n}$ терму $a_i^p \in A_i$, $p = \overline{1, k_i}$;

$\mu^{d_j}(d)$ – ФН значення змінної $y \in [\underline{y}, \overline{y}]$ терму-рішенню $d_j \in D$, $j = \overline{1, m}$.

У співвідношеннях (4) і (5) знаки інтеграла позначають об'єднання пар $\mu(u)/u$.

Матриця знань сформована за такими правилами: розмірність такої матриці дорівнює $(n + 1) \times N$, де $(n + 1)$ – кількість стовпчиків, $N = k_1 + k_2 + \dots + k_m$ – кількість рядків; перші n стовпців відповідають вхідним показникам ФС дешифрувальника x_i , $i = \overline{1, n}$, а $(n + 1)$ -й стовпчик – значенням d_j вихідного рішення y , $j = \overline{1, m}$; кожен рядок матриці є деякою комбінацією значень вхідних показників ФС дешифрувальника, віднесено експертом до одного з можливих станів працездатності d_j , причому перші k_j рядків відповідають значенню d_1 , а останні k_m рядків – значенню d_m ; елемент a_i^{jp} , що стоїть на перетині i -го стовпця і jp -го рядка, відповідає лінгвістичній оцінці показника x_i у рядку нечіткої бази знань із номером jp , причому лінгвістична оцінка a_i^{jp} вибирається з терм-множини відповідного показника x_i , тобто:

$$(a_i^{jp} \in A_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, l_j}). \quad (6)$$

Для формування матриці знань перерахуємо можливі рівні стану надійності дешифрувальника ПДП. У чисельних дослідженнях встановлено, що надійність оператора людино-машинної системи нерозривно пов'язана з рівнем та динамікою його працездатності,

тому оцінювання надійності дешифрувальника будемо проводити шляхом визначення стану його працездатності, яка має низку рівнів N_i , ($i = 1 \dots 5$) [8]: N_1 – впрацювання (ВП); N_2 – компенсації (К); N_3 – субкомпенсації (С); N_4 – декомпенсації (Д); N_5 – зрив (З).

Крім того визначимо межі, в яких змінюються показники, що вимірюються: X_1 – (45–180) уд/хв., X_2 – (0–5) уд/хв., X_3 – (10–30) кОм, X_4 – (35,5–40)°С, X_5 – (–20–+40)°С, X_6 – (0–24) год, X_7 – (0–6) год. Задача оцінки працездатності полягає в тому, щоб кожній комбінації показників поставити у відповідність одне з можливих рішень N_i , ($i = 1 \dots 5$).

На рис. 2 представлена декомпозиційна діаграма інформаційної системи оцінювання надійності дешифрувальника ПДП, де T, P – проміжні змінні, $N \in (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5)$ – стан працездатності дешифрувальника.

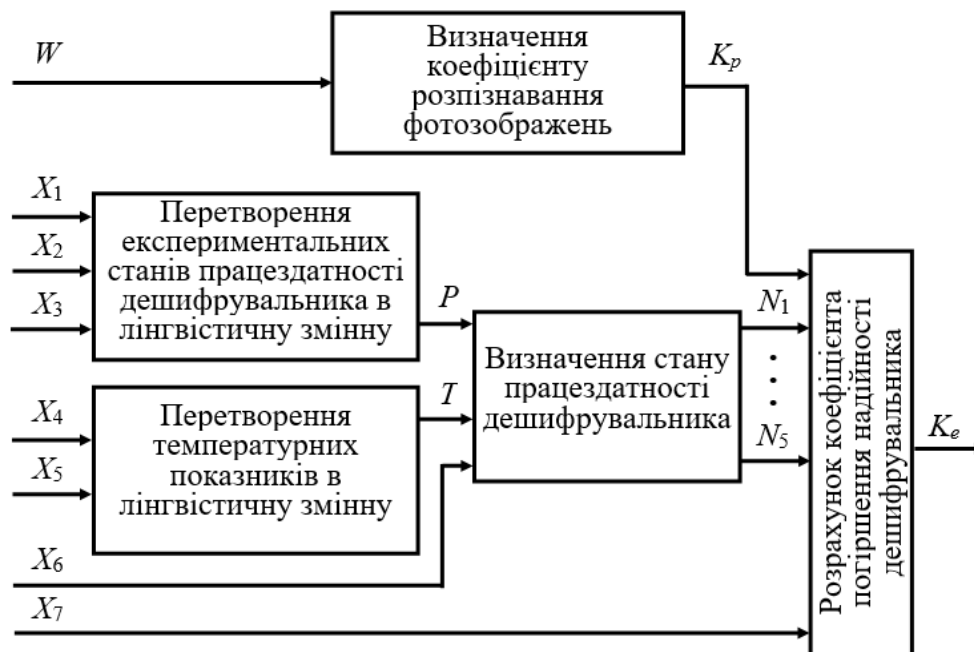


Рис. 2. Декомпозиційна діаграма інформаційної системи

Наведену модель описують рівняння:

$$T = f(X_4, X_5); \quad (7)$$

$$P = f(X_1, X_2, X_3); \quad (8)$$

$$N = f(X_6, X_7, T, P). \quad (9)$$

Показники $X_1 - X_7$ будемо розглядати як лінгвістичні змінні, а для їх оцінки будемо використовувати шкалу якісних термів. Для оцінки лінгвістичних змінних T та P будемо використовувати наступні терми: $T = \{\text{норма (Н), поза нормою (ПН)}\}$; $P = \{\text{спокій (С), оптимальна робота (ОР), робота з максимальною мобілізацією сил (МС), стрес (СТ)}\}$. Кожен із введених термів представляє собою нечітку множину.

Для визначення ФН вхідних параметрів $X_1 - X_7$ нечітким термам запропоновано метод рангових оцінок, для виставлення яких застосуємо 9-бальну шкалу Сааті.

Отримані значення ФН вхідних параметрів $X_1 - X_7$ представлені у вигляді графіків нечітких множин відповідних параметрів на рис. 3–9 [9].

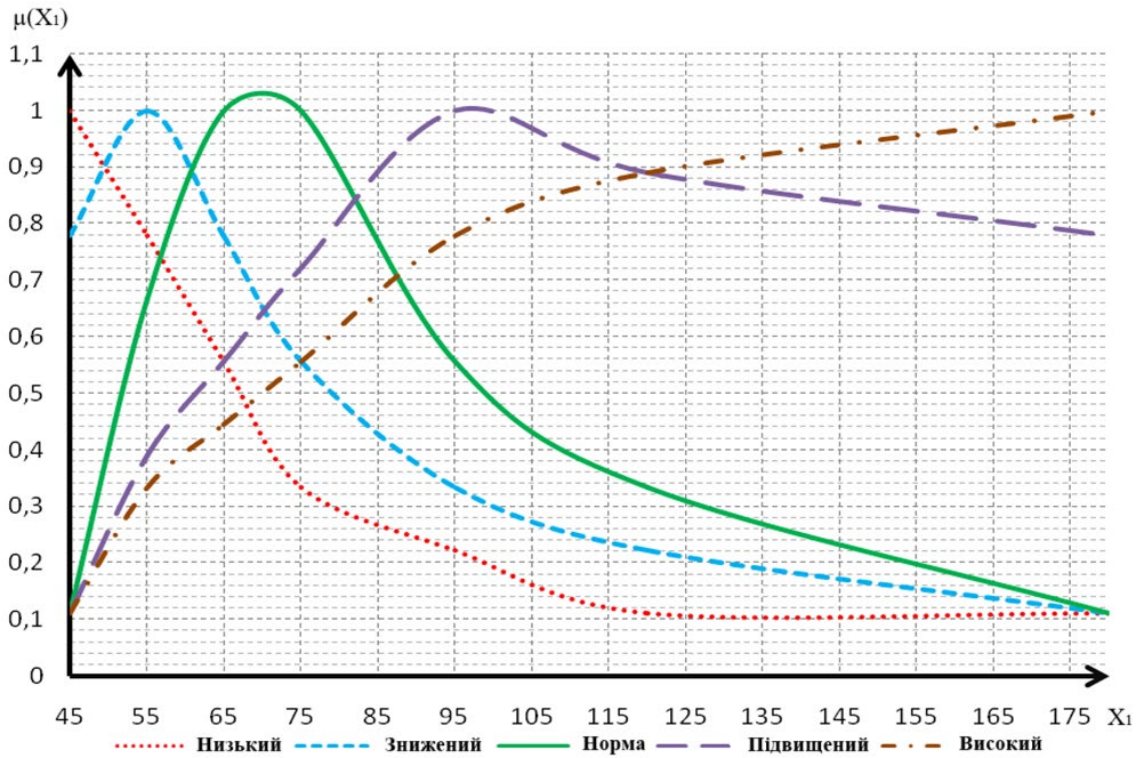


Рис. 3. Нечіткі множини параметра X_1

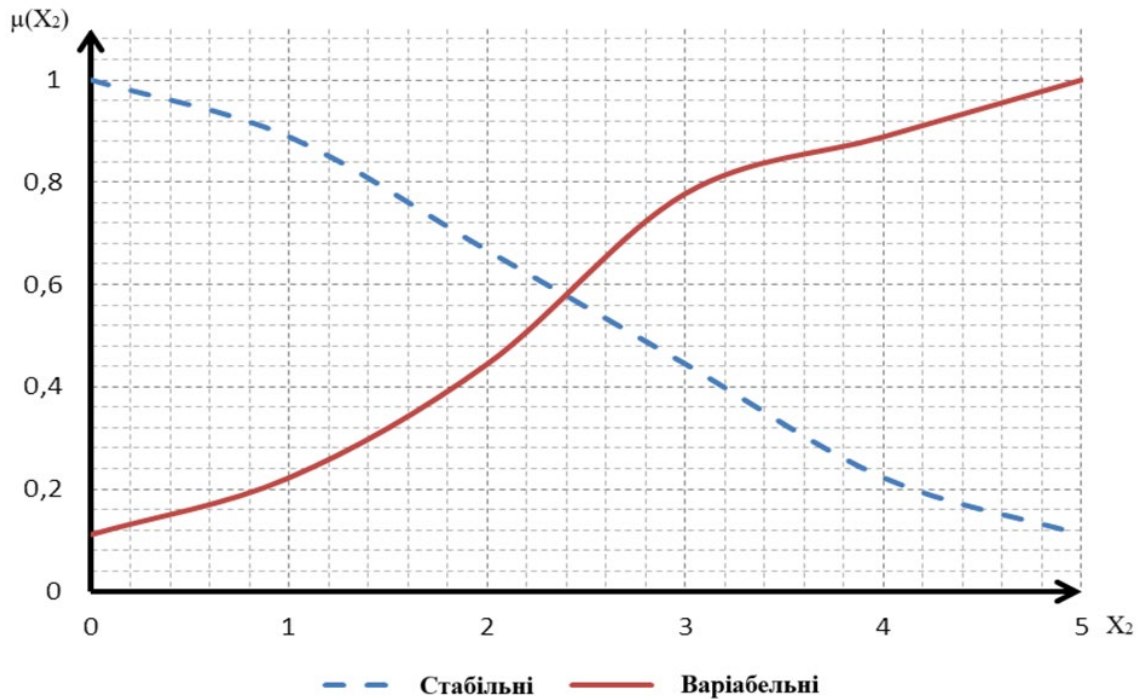


Рис. 4. Нечіткі множини параметра X_2

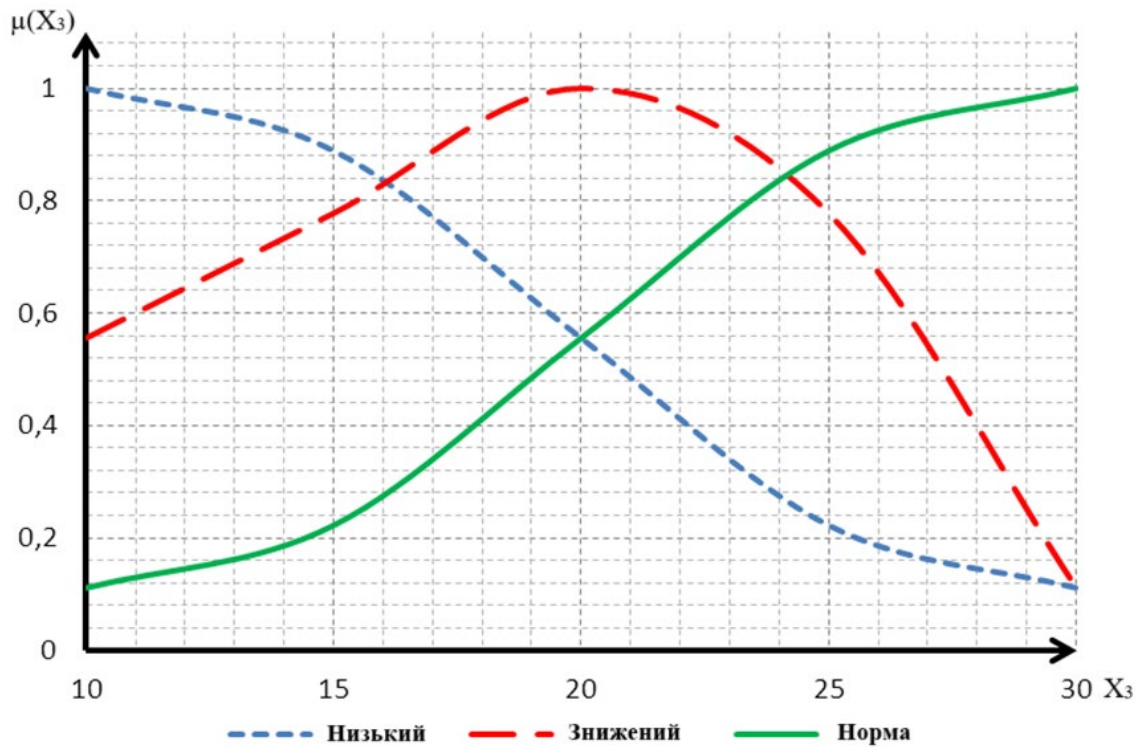


Рис. 5. Нечіткі множини параметра X_3

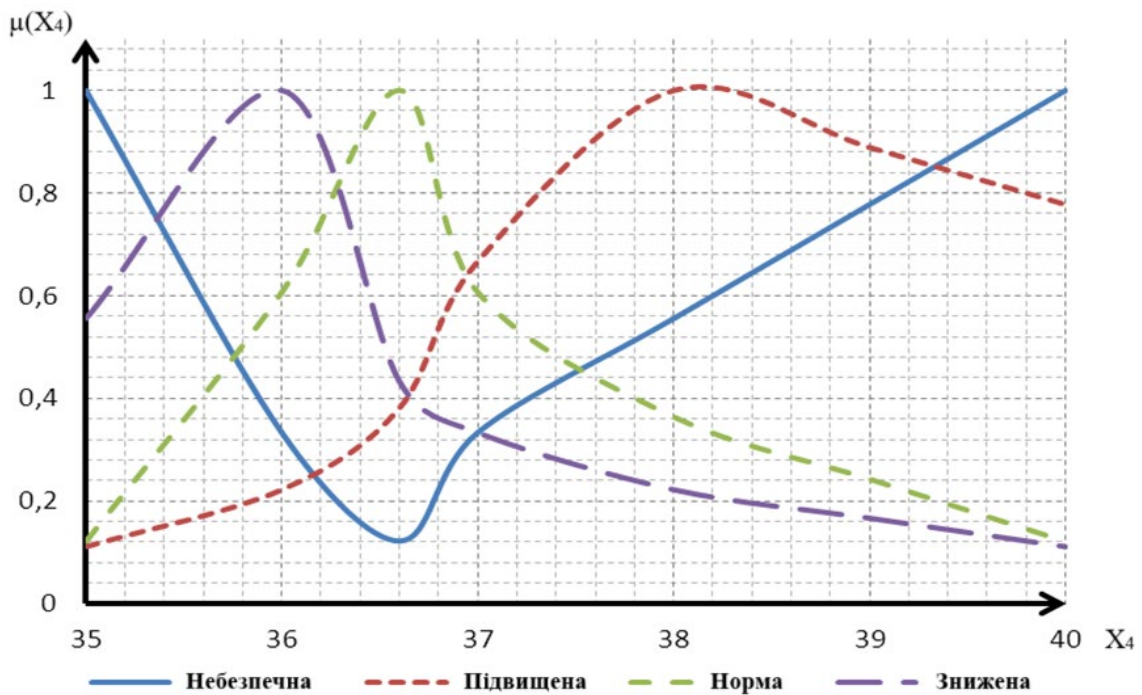


Рис. 6. Нечіткі множини параметра X_4

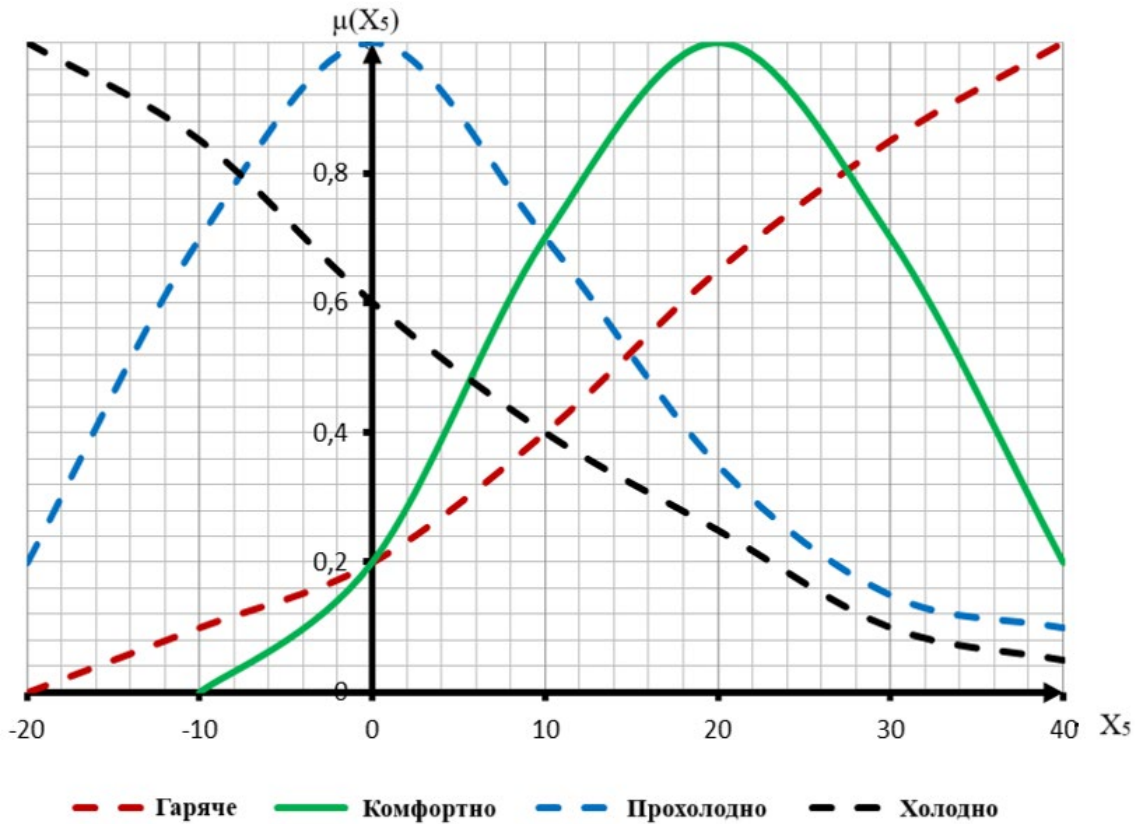


Рис. 7. Нечіткі множини параметра X_5

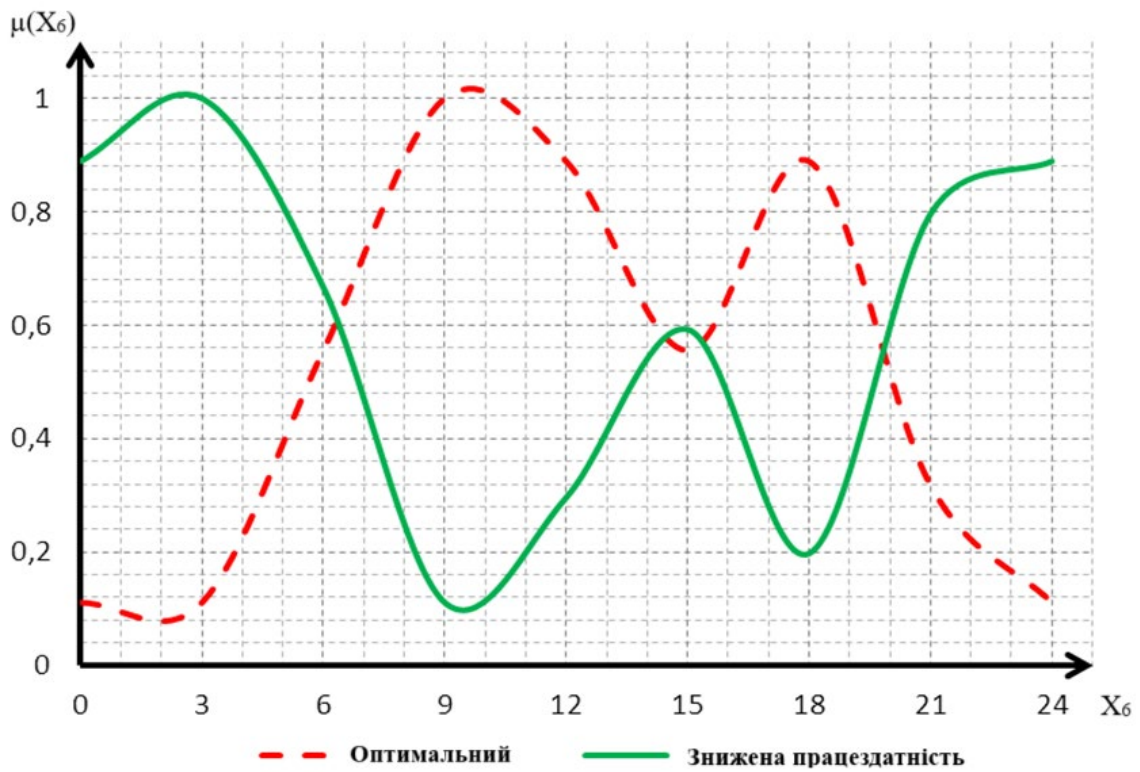


Рис. 8. Нечіткі множини параметра X_6

Для автоматизації процесу визначення ступеня належності показників ФС дешифрувальника до відповідних термів, було проведено апроксимацію нечітких множин параметрів $X_1 - X_7$ у середовищі Microsoft Office Excel, та отримані рівняння. Таким чином, знаючи ФН параметрів до оціночних термів, можна знайти ступінь належності стану дешифрувальника до кожного з рівнів працездатності $N_i, i = 1 \dots 5$.

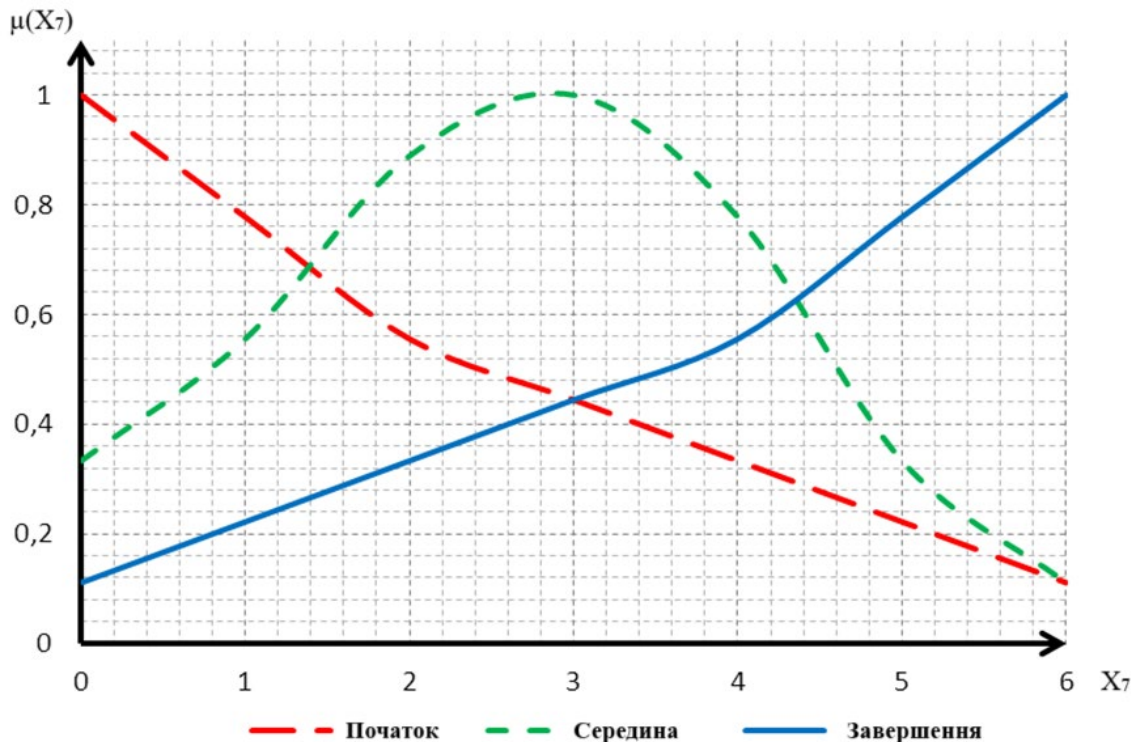


Рис. 9. Нечіткі множини параметра X_7

Для врахування в інформаційній системі якості обробки фотозображень в засобі відображення цільової інформації було використано формантний підхід до оцінювання розпізнавання зображень на фоні шуму. В результаті апроксимації залежності було отримано аналітичний вираз для обчислення коефіцієнта розпізнавання фотозображень залежно від контрастності:

$$K_p = \begin{cases} -0,428W + 1 & \text{якщо } W \leq 0,7; \\ -1,19W + 1,54 & \text{якщо } 0,7 < W \leq 0,94; \\ -83,3W^2 + 155W - 71,67 & \text{якщо } W > 0,94. \end{cases} \quad (10)$$

Отже, знаючи ФН параметрів X_1, \dots, X_7 до оціночних термів та коефіцієнт розпізнавання фотозображень – K_p , можна визначити коефіцієнт погіршення надійності дешифрувальника ПДП.

Для оцінювання надійності дешифрувальника пропонується застосовувати згортку за нелінійною схемою компромісів, якій притаманна висока чутливість до змін величин окремих частинних критеріїв та яка враховує компенсацію малої величини одного критерію надлишковою величиною іншого [10]

$$Y = \sum_{i=1}^s a_i [1 - y_i(x)]^{-1} \quad (11)$$

де a_i – вагові коефіцієнти, які характеризують ступінь впливу i -го показника на результат (ступінь впливу відповідного рівня працездатності на погіршення надійності дешифрувальника);

y_i – частинні показники.

Вагові коефіцієнти визначалися за виразом:

$$a_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^7 f_j}, \quad (12)$$

де f_i – коефіцієнт, який характеризує відносний вплив i -го показника на погіршення ефективності добування РІ на ПДП. Враховуючи кількість показників та їх вплив на зниження надійності дешифрувальника, було обрано наступні значення коефіцієнтів: $f_1 = 3$, $f_2 = 7$, $f_3 = 4$, $f_4 = 6$, $f_5 = 7$, $f_6 = 5$, $f_7 = 6$. Відповідно до виразу (12) були отримані значення вагових коефіцієнтів: $a_1 = \text{«}0,079\text{»}$, $a_2 = \text{«}0,184\text{»}$, $a_3 = \text{«}0,105\text{»}$, $a_4 = \text{«}0,158\text{»}$, $a_5 = \text{«}0,184\text{»}$, $a_6 = \text{«}0,131\text{»}$, $a_7 = \text{«}0,157\text{»}$.

Остаточний вираз для розрахунку коефіцієнта погіршення надійності дешифрувальника ПДП буде мати вигляд:

$$K_e = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1,3,4,5} a_i [1 - \mu^{N_i}]^{-1} + \frac{a_2}{\mu^{N_2}} + \frac{a_6}{1 - K_p}}, \quad (13)$$

де μ^{N_i} – ФН до N_i , $i = 1 \dots 5$ рівня працездатності.

Отже інформаційна система оцінювання надійності дешифрувальника ПДП працює за наступною послідовністю:

1. Зафіксувати вектор показників фізіологічних показників

$$X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7\}.$$

2. Визначити коефіцієнт розпізнавання фотозображень K_p за виразом (10).

3. Використовуючи логічні рівняння для температурних показників X_4, X_5 , розрахувати багатомірну ФН вектора X_4, X_5 для всіх значень лінгвістичної змінної T , при цьому логічні операції $(TA) \wedge$ і $(ABO) \vee$ замінюються на операції \min та \max відповідно:

$$\begin{aligned} \mu(x) \wedge \mu(y) &= \min\{\mu(x), \mu(y)\}; \\ \mu(x) \vee \mu(y) &= \max\{\mu(x), \mu(y)\}. \end{aligned} \quad (13)$$

4. Використовуючи логічні рівняння для показників X_1, X_2, X_3 та правило (14), перетворити експериментальні стани працездатності дешифрувальника в лінгвістичну змінну P .

5. Визначити стан працездатності дешифрувальника ПДП N_i .

6. Використовуючи вираз (13), розрахувати коефіцієнт погіршення надійності дешифрувальника ПДП для вектора вхідних параметрів $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, W\}$.

Розроблена інформаційна система дозволяє визначити момент критичного зниження надійності дешифрувальника ПДП.

Висновок. Проведений аналіз показав, що застосування теорії нечітких множин та згортки за нелінійною схемою компромісів в задачах оцінювання надійності людино-машинних систем дозволяє здійснювати ідентифікацію стану надійності дешифрувальника ПДП в реальному масштабі часу з врахуванням працездатності людської компоненти та ефективності функціонування апаратури.

Розроблено інформаційну систему оцінювання надійності дешифрувальника ПДП, в основу якої покладена узагальнююча математична модель у вигляді багаторівневого ієрархічного дерева логічного висновку, що відображає класифікацію показників та проміжні висновки оцінювання. Корінь дерева відповідає результату оцінювання, а вершина показникам надійності дешифрувальника ПДП. Процес оцінювання надійності дешифрувальника ПДП ґрунтується на математичному апараті нечіткої логіки та здійснюється з використанням доступної експертної інформації у вигляді логічних правил “ЯКЩО-ТО”, що пов’язують нечіткі терми показників надійності дешифрувальника ПДП і результат оцінювання. Науковий результат полягає у побудові ієрархічної системи відношень, яка дозволяє провести оцінювання надійності дешифрувальника ПДП і відслідковувати її

залежність від показників стану дешифрувальника та ефективності функціонування засобу відображення цільової інформації.

Напрямок подальших досліджень. Для продовження досліджень необхідно розробити алгоритм автоматичного моніторингу стану надійності оператора ПДП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пількевич І. А., Лобода Р. І., Мірошніченко С. І. Аналіз шляхів забезпечення ефективності добування розвідувальної інформації за допомогою БпАК І класу // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. Житомир: ЖВІ, 2023. Вип. № 25 (II). С. 4–19. Інв. 5427 дск.
2. ДСТУ 2860–94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Наказ Держстандарту України № 333 від 28 грудня 1994 р.
3. ДСТУ 2861–94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Наказ Держстандарту України № 310 від 08 грудня 1994 р.
4. ДСТУ 2863–94 Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. Наказ Держстандарту України № 310 від 08 грудня 1994 р.
5. Дячук О. А., Фуртат Ю. О. Проблема надійності при участі людини-оператора в процесі прийняття рішень по керуванню об'єктами енергетики // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2020. Вип. 21. С. 61–75. URL: <https://doi.org/10.32626/2308-5916.2020-21.61-75>.
6. Пількевич І. А., Лобода Р. І., Дмитрук В. В., Лобода В. В. Перспективні напрями підвищення ефективності функціонування БпАК І класу // Збірник наукових праць “Труди університету”. Київ: Національний університет оборони України ім. Івана Черняхівського, 2021. № 2 (165). С. 42–49. Інв. 2574 т.
7. Осієвський С. В., Третяк В. Ф., Кулагін К. К., Власов А. В., Закіров З. З., Кривчун В. І. Метод підвищення ефективності функціонування людино-машинної системи за рахунок підвищення якості програмного забезпечення системи підтримки прийняття рішень. Грааль науки. № 6. С. 170–181. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.25.06.2021.029>.
8. Філімонов В. І. Фізіологія людини: підручник. 4-е вид. / В. І. Філімонов. Київ: ВСВ «Медицина», 2021. 488 с. ISBN: 978-617-505-851-0.
9. Токар А. М. Удосконалене ергономічне забезпечення ефективності добування розвідувальної інформації на постах радіоперехоплення. Житомир: 20.02.14 – Озброєння і військова техніка. ЖВІ, 2013. 188 с. Інв. 262 т.
10. Засядько А. А. Способи спрощення задачі нелінійного програмування на основі класифікації обмежень // Системи обробки інформації. Харків: ХНУПС, 2020. Вип. 2 (161). С. 59–70. URL: <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.07>.