

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВАЖЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ГАЛУЗІ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

*Вікторія Сидоренко, Сергій Гнатюк, Олексій Юдін*

*Останнім часом у світі спостерігається тенденція до збільшення кількості надзвичайних подій різного роду. Щодня світові ЗМІ повідомляють про природні та техногенні катастрофи, збройні конфлікти, терористичні акти, важкі злочини, акти піратства, вчинені як злочинними організаціями, так і окремими особами. Все частіше в результаті таких подій жертвами стає велика кількість людей та завдається шкода життєво важливим для існування держав системам, об'єктам і ресурсам. З огляду на це, більшість провідних держав світу стали приділяти увагу методам та засобам ідентифікації, систематизації та забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, втрата або порушення нормального функціонування яких призведе до значних або навіть неоправданих негативних наслідків для національної безпеки держави. Для застосування адекватних методів захисту важливим є попереднє визначення рівня важливості (критичності) об'єктів інформаційної інфраструктури держави у певній галузі. Враховуючи зазначене був розроблений метод визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави в галузі цивільної авіації, який дозволяє проводити ранжування та оцінку рівня важливості критичних авіаційних інформаційних систем як за кількісними, так і за якісними параметрами. Продовженням дослідження стала розробка методики проведення експерименту, за допомогою якої перевірено адекватність реагування методу на зміну вхідних даних, що підтвердило можливість визначення рівня важливості критичних авіаційних інформаційних систем різних категорій: інформаційних систем аеронавігаційного обслуговування, бортових інформаційних систем повітряних суден та інформаційних систем авіакомпаній і аеропортів.*

**Ключові слова:** критична інфраструктура, визначення рівня критичності, критична інформаційна інфраструктура, критичні авіаційні інформаційні системи, цивільна авіація.

**Вступ.** Процес бурхливого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій спричинив значні, а іноді й революційні зміни у всіх сферах життєдіяльності людей більшості держав світу. Це суттєво підвищило уразливість різноманітних мереж, систем та об'єктів і значно ускладнило забезпечення їх надійного захисту й безпеки. Усі ці чинники обумовили те, що провідні держави світу стали приділяти значну увагу засобам захисту найбільш важливих об'єктів, систем і ресурсів, а також процесам ідентифікації критичних інфраструктур (КІ) [1-2], розрахунку їх рівня критичності та оцінюванню наслідків можливих переривань роботи. Проте, на сьогодні відсутній універсальний метод, який міг би використовуватись для визначення рівня критичності інфраструктури у різних галузях.

Збільшення концентрації засобів та ресурсів для захисту електронних інфраструктур різних типів зумовило необхідність ранжування інфраструктурних об'єктів, виділення найважливіших з них та появи поняття КІ [3-4]. Для забезпечення захисту найбільш важливих об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (КІІ) необхідно, перш за все, ідентифікувати ці об'єкти за певними критеріями [5] після чого необхідно визначити рівень критичності ідентифікованих об'єктів [6]. Особливої уваги

потребує галузь цивільної авіації (ЦА), де відповідно до керівних документів [7], необхідно ідентифікувати і захищати так звані критичні авіаційні інформаційні системи (КАІС).

**Аналіз існуючих досліджень і постановка завдання.** У роботі [1] запропоновано метод визначення рівня важливості об'єктів КІІ держави в галузі ЦА, який за рахунок введення базової множини систем та відповідних множин підсистем, компонентів, функцій, порушень безперервності роботи (переривання роботи, втрати функціональності), їх ознак і наслідків, а також побудови тривимірної матриці критичності [8], дає можливість проводити оцінювання рівня важливості і ранжувати КАІС.

Основні результати реалізації запропонованого методу формуються у вигляді звіту, де систематизовано такі відомості як: перелік компонентів системи, їх функції, види переривань роботи для кожного компонента системи; інформація про причини виникнення та наслідки переривань роботи для кожного компонента системи; розрахунки рангів критичності, результати ранжування – перелік найбільш значущих (критичних) переривань роботи, які відображаються у формалізованому і зручному для експертів вигляді. Інші вихідні дані отримані на різних етапах реалізації методу: матриця

критичності, яка за зібраними попередніми даними графічно відображає критичність компонентів системи (етап 7); діаграма Парето, яка показує рівень критичності в середині системи та дає можливість порівняти декілька різних систем (етап 9); причинно-наслідкова діаграма Ісікави, що дозволяє виділити пріоритетні напрямки розробки відповідних коригувальних заходів (етап 10). Також слід зазначити, що при виділенні переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи за обчисленням рангом критичності [9] були визначені такі недоліки розрахунку рангу критичності  $R_i$ :

– неоднозначність  $R_i$  (декілька комбінацій різних значень параметрів призводять до однакових значень  $R_i$ ), наприклад,  $R_i = 126$ , як  $R_i = 3 \cdot 6 \cdot 7 = 126$ , так і  $R_i = 2 \cdot 7 \cdot 9 = 126$ ;

– чутливість до невеликих змін: незначні відхилення одного параметру завдають суттєвого впливу на результат, якщо інші параметри мають великі значення (наприклад,  $R_i = 9 \cdot 9 \cdot 3 = 243$  та  $R_i = 9 \cdot 9 \cdot 4 = 324$ , в той час як  $R_i = 3 \cdot 4 \cdot 3 = 36$  та  $R_i = 3 \cdot 4 \cdot 4 = 48$ );

– неадекватна шкала: таблиця появи переривань роботи є нелінійною (наприклад, відношення між двома послідовними рангами може бути як 2,5, так і 2);

– помилкові висновки на основі порівняння рангу критичності, оскільки шкали параметрів є порядковими, а не відносними.

Додатковим недоліком розрахунку рангів критичності для КАІС є постійне велике значення коефіцієнта  $B_3$ , адже саме цей коефіцієнт пов'язаний з тяжкістю наслідків переривання роботи та появою загрози для безпеки людей та навколишнього середовища. Як відомо із збільшенням одного з параметрів збільшується і ранг критичності. Отже, є необхідність розробки вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи, які можуть використовуватись на етапі розрахунку рангу критичності (етап 8) розробленого методу, та як окремий модуль визначення тяжкості наслідків переривань роботи. Отже, метою роботи є експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КП держави в галузі ЦА, для досягнення якої необхідно: перевірити адекватність реагування методу на зміну вхідних даних та розробити додаткові вагові коефіцієнти критичності.

**Основна частина дослідження.** Запропонований метод визначення рівня важливості об'єктів КП (схема реалізації відображена на

рис. 1) реалізується в такі етапи: 1) визначення компонентів системи та встановлення рівня деталізації; 2) визначення функцій кожного виявленого компонента системи; 3) визначення переліку можливих переривань роботи кожного компонента системи; 4) визначення наслідків кожного можливого переривання роботи; 5) ідентифікація ознак виявлення переривань роботи; 6) ідентифікація способів виявлення переривань роботи; 7) побудова тривимірної матриці критичності; 8) розрахунок рангу критичності ймовірних переривань; 9) виділення переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи; 10) формування переліку коригувальних заходів; 11) складання звіту.

#### **Методика проведення експерименту.**

Перший крок експериментального дослідження полягає у складанні *плану-програми дослідження*, що містить такі компоненти:

1. Мета та задачі експерименту.

Мета експерименту – дослідити адекватність розробленого методу.

Задачі:

1.1. Дослідити запропонований метод визначення рівня важливості об'єктів КП в галузі ЦА ( шляхом моделювання його роботи за допомогою розробленого програмного забезпечення).

1.2. Перевірити адекватність реагування розробленого методу на зміну вхідних даних.

1.3. Перевірити адекватність розроблених вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи розробленого методу.

2. Вибір вхідних та вихідних параметрів:

2.1. Вхідними параметрами для розв'язання задачі 1.1. є: структурно-функціональні схеми аналізованої системи і її компонентів; інформація про функціонування кожного процесу або компонента системи; докладний опис всіх параметрів, які можуть впливати на функціонування системи; відомості про результати переривання роботи; хронологічні дані про переривання роботи, включаючи доступні дані про інтенсивність переривання роботи. Вихідні параметри: звіт з переліком видів переривань роботи для кожного компонента системи; інформація про причини виникнення та наслідки переривання роботи для кожного компонента системи; матриця критичності; діаграма Парето; причинно-наслідкова діаграма Ісікави; список коригувальних заходів для зменшення критичності найбільш значущих переривань роботи.

2.2. Вхідними параметрами для розв'язання задачі 1.2. є: перелік всіх видів переривань роботи компонентів системи та їх оцінений рівень критичності. Вихідні параметри: зведені результати дослідження всіх переривань роботи кожної системи.

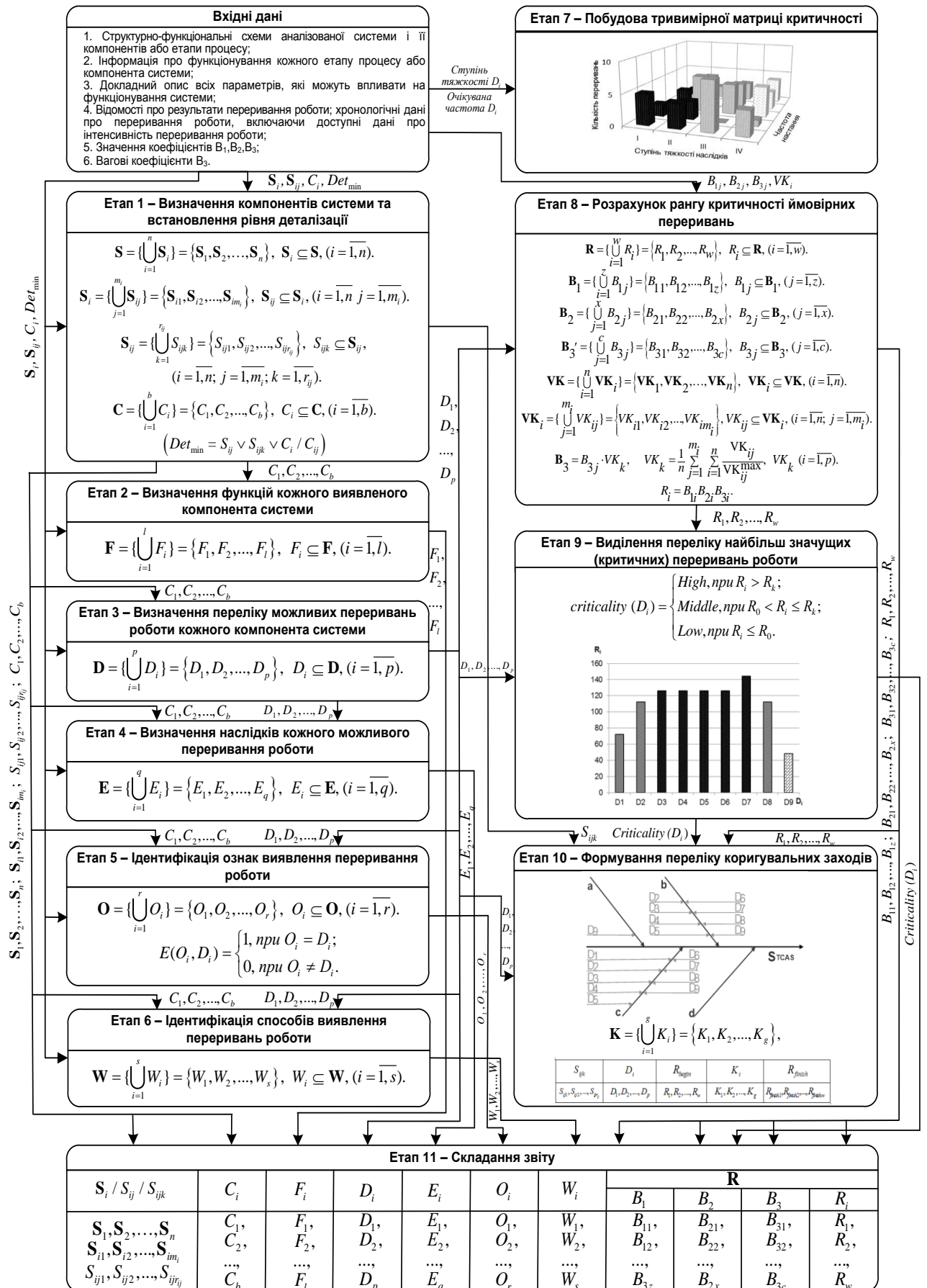


Рис. 1. Схема реалізації методу визначення рівня важливості об'єктів КІП

2.3. Вхідними параметрами для розв'язання задачі 1.3. є таблиці показників  $B_{1i}, B_{2i}, B_{3i}$ , та розраховані значення вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи. Вихідні

параметри: результати дослідження розроблених вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи.

### 3. Послідовність дій.

3.1. Визначення множини компонентів системи **C** за допомогою множини класів систем **S**, множини систем **S<sub>i</sub>**, множини підсистем **S<sub>ij</sub>**, а також встановлення рівня деталізації  $Det_{\min}$  (використовуючи відповідно (6), (1), (2) і (4) в [1]).

3.2. Визначення множини функцій **F**, та множини переривань роботи **D** (використовуючи відповідно (7) і (8) в [1]).

3.3. Визначення множини наслідків **E**, ознак виявлення **O**, способів виявлення переривань роботи **W** (використовуючи відповідно (9), (10) і (12) в [1]) та побудова тривимірної матриці критичності.

3.4. Розрахунок множини рангів критичності ймовірних переривань **R**, за допомогою множин **B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>**, виділення переліку найбільш значущих переривань роботи *criticality* (**D<sub>i</sub>**), (використовуючи відповідно (13) – (18) в [1]), множини **VK** (див. етап 8 експериментального дослідження) та побудова діаграми Парето.

3.5. Побудова причинно-наслідкової діаграми Ісікави, визначення множини коригувальних заходів **K** та оцінювання ефективності імплементації коригувальних заходів шляхом повторного розрахунку рангів критичності **R** (використовуючи відповідно (19), (14) в [1]).

3.6. Систематизація даних у вигляді звіту для всіх рівнів аналізу.

### 4. Вибір кроку зміни чинників.

$S_{ijk}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}$ ) згідно (4) в [1];  $C_i$  ( $i = \overline{1, b}$ ) згідно (6) в [1];  $F_i$  ( $i = \overline{1, l}$ ) згідно (7) в [1];  $D_i$  ( $i = \overline{1, p}$ ) згідно (8) в [1];  $E_i$  ( $i = \overline{1, q}$ ) згідно (9) в [1];  $O_i$  ( $i = \overline{1, r}$ ) згідно (10) в [1];  $W_i$  ( $i = \overline{1, s}$ ) згідно (12) в [1];  $R_i$  ( $i = \overline{1, w}$ ) згідно (13) в [1];  $B_{1j}$  ( $j = \overline{1, z}$ ) згідно (15) в [1];  $B_{2j}$  ( $j = \overline{1, x}$ ) згідно (16) в [1];  $B_{3j}$  ( $j = \overline{1, c}$ ) згідно (17) в [1];  $VK_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ ), (див. етап 8 експериментального дослідження);  $K_i$  ( $i = \overline{1, g}$ ) згідно (19) в [1].

### 5. Аналіз результатів.

Другий крок, що здійснюється після затвердження плану-програми дослідження, – це

визначення об'єму експериментальних досліджень та необхідних програмних засобів.

Третім кроком є безпосереднє проведення експерименту, четвертим кроком є обробка експериментальних даних, систематизація усіх числових даних, побудова матриць, діаграм та таблиць.

**Експериментальне дослідження запропонованого методу.** Розглянемо детально кожен з етапів реалізації запропонованого методу, а для оцінювання критичності КАІС оберемо з кожної із категорій [10] одну систему.

### Етап 1 – Визначення компонентів системи та встановлення рівня деталізації.

**Крок 1.** Для КАІС згідно [10], при  $n = 3$  з урахуванням (1) в [1] визначимо повну множину класів систем КАІС таким чином:

$$\begin{aligned} S_{\text{KAIS}} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^3 S_i \right\} = \{S_1, S_2, S_3\} = \\ &= \{S_{\text{ISAO}}, S_{\text{BSPS}}, S_{\text{ISAA}}\} = \{\text{ISAO}, \text{BSPS}, \text{ISAA}\}, \end{aligned}$$

де  $S_1 = S_{\text{ISAO}} = \text{ISAO}$  – множина інформаційних систем аеронавігаційного обслуговування;  $S_2 = S_{\text{BSPS}} = \text{BSPS}$  – множина бортових інформаційних систем повітряних суден;  $S_3 = S_{\text{ISAA}} = \text{ISAA}$  – множина інформаційних систем авіакомпаній та аеропортів згідно [10].

**Крок 2.** Наприклад, при  $n = 1, m_1 = 5$  з використанням (2) в [1], представимо множину систем класу  $S_1$  таким чином:

$$\begin{aligned} S_1 &= S_{\text{ISAO}} = \text{ISAO} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 S_{1j} \right\} = \\ &= \{S_{1.1}, S_{1.2}, S_{1.3}, S_{1.4}, S_{1.5}\} = \\ &= \{S_{\text{SAE}}, S_{\text{RZZP}}, S_{\text{SSP}}, S_{\text{SOD}}, S_{\text{SMZ}}\} = \\ &= \{\text{SAE}, \text{RZZP}, \text{SSP}, \text{SOD}, \text{SMZ}\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.1} = S_{\text{SAE}} = \text{SAE}$  – системи авіаційного електрозв'язку;  $S_{1.2} = S_{\text{RZZP}} = \text{RZZP}$  – радіонавігаційні засоби забезпечення польотів;  $S_{1.3} = S_{\text{SSP}} = \text{SSP}$  – системи спостереження;  $S_{1.4} = S_{\text{SOD}} = \text{SOD}$  – системи обробки даних;  $S_{1.5} = S_{\text{SMZ}} = \text{SMZ}$  – системи метеорологічного забезпечення [10].

Аналогічним чином для множин класів  $S_2$  та  $S_3$ , при  $n = 2, m_2 = 7$  та при  $n = 3, m_3 = 4$  відповідно, з використанням (2) в [1], представимо множини систем (табл. 1), де  $S_{2.1} = S_{\text{SPS}} = \text{SPS}$  – система повітряних сигналів;  $S_{2.2} = S_{\text{SZV}} = \text{SZV}$  – системи зв'язку;  $S_{2.3} = S_{\text{NAVS}} = \text{NAVS}$  – навігаційні системи;

$S_{2.4} = S_{SSPZ} = \mathbf{SSPZ}$  – системи спостереження та попередження зіткнень;  $S_{2.5} = S_{OSL} = \mathbf{OSL}$  – обчислювальні системи літаководіння;  $S_{2.6} = S_{SVI} = \mathbf{SVI}$  – системи відображення інформації;  $S_{2.7} = S_{ABSK} = \mathbf{ABSK}$  – автоматичні бортові системи керування;  $S_{3.1} = S_{CRS} = \mathbf{CRS}$  – система комп’ютерного бронювання;  $S_{3.2} = S_{GDS} = \mathbf{GDS}$  – глобальна система резервування (бронювання);  $S_{3.3} = S_{BSP} = \mathbf{BSP}$  – система взаєморозрахунків;  $S_{3.4} = S_{DCS} = \mathbf{DCS}$  – системи управління відправками [10].

Таблиця 1

Представлення множин систем

Система	Назва	Значення $m_i$	Множина систем	Назви множин систем
$S_1$	<b>ISAO</b>	$m_1 = 5$	$S_{1.1}, S_{1.2}, S_{1.3}, S_{1.4}, S_{1.5}$	<b>SAE, RZPP, SSP, SOD, SMZ</b>
$S_2$	<b>BSPS</b>	$m_2 = 7$	$S_{2.1}, S_{2.2}, S_{2.3}, S_{2.4}, S_{2.5}, S_{2.6}, S_{2.7}$	<b>SPS, SZV, NAVS, SSPZ, OSL, SVI, ABSK</b>
$S_3$	<b>ISAA</b>	$m_3 = 4$	$S_{3.1}, S_{3.2}, S_{3.3}, S_{3.4}$	<b>CRS, GDS, BSP, DCS</b>

**Крок 3.** Для множини  $S_{1.4}$  з використанням (4) в [1], при  $n = 1, m_1 = 4, r_{1.4} = 0$ , (згідно [10], у множині  $S_{1.4}$  не існує множини підсистем), а для множини  $S_{2.4}$ , при  $n = 2, m_2 = 4, r_{2.4} = 4$ , з використанням (4) в [1], представимо множину підсистем таким чином:

$$S_{2.4} = S_{SSPZ} = \mathbf{SSPZ} = \left\{ \bigcup_{k=1}^4 S_{2.4.k} \right\} = \{ S_{2.4.1}, S_{2.4.2}, S_{2.4.3}, S_{2.4.4} \} = \{ S_{TRA}, S_{TCAS}, S_{SRPZ}, S_{BMR} \} = \{ \mathbf{TRA}, \mathbf{TCAS}, \mathbf{SRPZ}, \mathbf{BMR} \},$$

де  $S_{2.4.1} = S_{TRA} = \mathbf{TRA}$  – транспондери;  $S_{2.4.2} = S_{TCAS} = \mathbf{TCAS}$  – бортові системи попередження зіткнень (TCAS);  $S_{2.4.3} = S_{SRPZ} = \mathbf{SRPZ}$  – системи раннього попередження небезпечних зближень із землею;  $S_{2.4.4} = S_{BMR} = \mathbf{BMR}$  – бортові метеонавігаційні радіолокатори [10].

Аналогічним чином для множини  $S_{3.2}$ , при  $n = 3, m_3 = 4, r_{3.2} = 18$ , з використанням (4) в [1] представимо множину підсистем (табл. 2), де  $S_{3.2.1} = S_{AMDS} = \mathbf{AMDS}$  – Amadeus;  $S_{3.2.2} = S_{TGDS} = \mathbf{TGDS}$  – TravelportGDS;  $S_{3.2.3} = S_{SAB} = \mathbf{SAB}$  – Sabre;  $S_{3.2.4} = S_{TRES} = \mathbf{TRES}$  – TameliaRES;  $S_{3.2.5} = S_{APSS} = \mathbf{APSS}$  – Avantik PSS;  $S_{3.2.6} = S_{ABCS} = \mathbf{ABCS}$  – Abacus;  $S_{3.2.7} = S_{ACA} = \mathbf{ACA}$  – Accel Aero;  $S_{3.2.8} = S_{AXS} = \mathbf{AXS}$  – Axess;  $S_{3.2.9} = S_{IBE} = \mathbf{IBE}$  – Internet Booking Engine;  $S_{3.2.10} = S_{KUI} = \mathbf{KUI}$  – KIU;  $S_{3.2.11} = S_{MER} = \mathbf{MER}$  – Mercator;  $S_{3.2.12} = S_{NAV} = \mathbf{NAV}$  – Navitaire;  $S_{3.2.13} = S_{PATH} = \mathbf{PATH}$  – Patheo;  $S_{3.2.14} = S_{RAD} = \mathbf{RAD}$  – Radixx;  $S_{3.2.15} = S_{AKF} = \mathbf{AKF}$  – Akeflite;  $S_{3.2.16} = S_{TTI} = \mathbf{TTI}$  – Travel Technology Interactive;  $S_{3.2.17} = S_{WSMS} = \mathbf{WSMS}$  – WorldTicket Sell-More-Seats;  $S_{3.2.18} = S_{SIR} = \mathbf{SIR}$  – Сирена [10].

Таблиця 2

Представлення множини підсистем

Система	Назва	Значення $r_{ij}$	Множина підсистем	Назва множин підсистем
$S_{2.4}$	<b>SSPZ</b>	$r_{2.4} = 4,$	$S_{2.4.1}, S_{2.4.2}, S_{2.4.3}, S_{2.4.4}$	<b>TRA, TCAS, SRPZ, BMR</b>
$S_{3.2}$	<b>GDS</b>	$r_{3.2} = 18,$	$S_{3.2.1}, S_{3.2.2}, \dots, S_{3.2.18}$	<b>AMDS, TGDS, \dots, SIR</b>

**Крок 4.** Для системи  $S_{1.4}$ , при  $b = 7$ , з використанням (6) в [1], представимо множину компонентів таким чином:

$$C_{SOD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^7 C_i \right\} = \{ C_1, C_2, \dots, C_7 \} = \{ C_{ODSS}, C_{OPD}, C_{MKS}, C_{ZVI}, C_{KGZ}, C_{PPR}, C_{ZBP} \},$$

де  $C_1 = C_{ODSS}$  – обробки даних системи спостереження;  $C_2 = C_{OPD}$  – обробки польотних даних;

$C_3 = C_{MKS}$  – моніторингу та контролю систем;  $C_4 = C_{ZVI}$  – запису та відтворення інформації;  $C_5 = C_{KGZ}$  – комутації голосового зв’язку;  $C_6 = C_{PPR}$  – підтримки прийняття рішень;  $C_7 = C_{ZBP}$  – забезпечення безпеки польотів [11].

Аналогічним чином для систем  $S_{2.4.2}$  згідно [12-13], та  $S_{3.2.1}$  згідно [14-15], при  $b = 5$  та

$b = 4$  з використанням (6) [1] відповідно, представимо множину компонентів (табл. 3), де  $C_8 = C_{ANT}$  – антени;  $C_9 = C_{BLO}$  – блок обчислювача;  $C_{10} = C_{VRS}$  – відповідач режиму S;  $C_{11} = C_{IND}$  – індикатори (встановлені в кабіні

екіпажу);  $C_{12} = C_{PYL}$  – пульт управління;  $C_{13} = C_{ATIM}$  – Amadeus Timetable;  $C_{14} = C_{AAV}$  – Amadeus availability;  $C_{15} = C_{ASCH}$  – Amadeus schedules;  $C_{16} = C_{ADA}$  – Amadeus direct access.

Таблиця 3

Представлення множини компонентів				
Система / Підсистема	Множина компонентів підсистеми	Значення $b$	Компоненти підсистеми	Назва компонентів підсистеми
$S_{1.4}$	$C_{SOD}$	7	$C_1, C_2, \dots, C_7$	$C_{ODSS}, C_{OPD}, \dots, C_{ZBP}$
$S_{2.4.2}$	$C_{TCAS}$	5	$C_8, C_9, \dots, C_{12}$	$C_{ANT}, C_{BLO}, \dots, C_{PYL}$
$S_{3.2.1}$	$C_{AMDS}$	4	$C_{13}, C_{14}, \dots, C_{16}$	$C_{ATIM}, C_{AAV}, \dots, C_{ADA}$

**Крок 5.** Встановимо мінімальний рівень деталізації  $Det_{min}$  для опису та декомпозиції системи. Метою аналізу  $S_{ij} / S_{ijk}$  є визначення рівня критичності можливих видів переривань роботи компонентів, що спричиняють втрату їх функціональності, з'ясування їх причин виникнення, наслідків, способів виявлення та рекомендацій щодо зменшення їх критичності.

Отже, опис та декомпозиція обмежена рівнем «клас системи» / «система» / «підсистема» / «компонент» ( $S_i / S_{ij} / S_{ijk} / C_i$ ) і стосується лише наслідків можливих переривань роботи визначених компонентів  $C_i$ . Тобто  $Det_{min} = C_i$ , проте при детальнішому дослідженні більш складних компонентів (підсистем) КАІС може розглядатися випадок при  $Det_{min} = C_{ij}$ , де  $C_{ij}$  – складові компонентів  $C_i$  ( $Det_{min} = S_{ij} \vee S_{ijk} \vee C_i / C_{ij}$ ) і т. д.

Обрані системи обмежені рівнем  $S_{ISAO} / S_{SOD} / C_{SOD}$ ;  $S_{BSPS} / S_{SSPZ} / S_{TCAS} / C_{TCAS}$ ;  $S_{ISAA} / S_{GDS} / S_{AMDS} / C_{AMDS}$  і стосуються лише наслідків можливих переривань роботи визначених компонентів  $C_i$ .

**Етап 2 – Визначення функцій кожного виявленого компонента системи.** Для системи  $S_{1.4}$ , що містить множину компонентів  $C_{SOD}$ , при  $l = 15$ , з використанням (7) в [1], представимо множину функцій таким чином:

$$F_{SOD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{15} F_i \right\} = \{ F_1, F_2, \dots, F_{15} \} = \{ F_{OSG}, F_{POI}, F_{VOI}, F_{OPD}, F_{KPOL}, F_{PPAT}, F_{VVI}, F_{DVI}, F_{ZDGZ}, F_{APR}, F_{PZIT}, F_{VPI}, F_{VVKs}, F_{PAP}, F_{ZBP} \},$$

де  $F_1 = F_{OSG}$  – обробка сигналів;  $F_2 = F_{POI}$  – первинна обробка інформації;  $F_3 = F_{VOI}$  – вторинна обробка інформації;  $F_4 = F_{OPD}$  – обробка польотних даних;  $F_5 = F_{KPOL}$  – контролю польотів;  $F_6 = F_{PPAT}$  – повітряне патрулювання;  $F_7 = F_{VVI}$  – відображення та управління інформацією;  $F_8 = F_{DVI}$  – документування та відтворення інформації;  $F_9 = F_{ZDGZ}$  – забезпечення диспетчерів авіаційним повітряним та наземним голосовим зв'язком;  $F_{10} = F_{APR}$  – автоматизація прийняття рішень;  $F_{11} = F_{PZIT}$  – попередження зіткнень;  $F_{12} = F_{VPI}$  – використання планової інформації;  $F_{13} = F_{VVKs}$  – виявлення та вирішення потенційних конфліктних ситуацій;  $F_{14} = F_{PAP}$  – попередження авіаційних подій;  $F_{15} = F_{ZBP}$  – забезпечення безпеки польотів [10].

Аналогічним чином, для систем  $S_{2.4.2}$  згідно [12] та  $S_{3.2.1}$  згідно [14], множини компонентів  $C_{TCAS}$  та  $C_{AMDS}$ , при  $l = 14$  та  $l = 4$ , з використанням (7) в [1], представимо множини функцій (табл. 4), де  $F_{16} = F_{PPR}$  – приймання та передавання радіохвиль;  $F_{17} = F_{ZIL}$  – запит відповідачів інших літаків;  $F_{18} = F_{OMRL}$  – обчислення місця розташування літаків;  $F_{19} = F_{VTL}$  – відстеження траєкторії літаків;  $F_{20} = F_{PPRD}$  – передавання попередження та рекомендацій на дисплеї VSI/TRA або інших індикаторів;  $F_{21} = F_{PMPP}$  – передавання мовних повідомлень пілотові через розташовану в кабіні літака систему звукового оповіщення;  $F_{22} = F_{VNZ}$  – відповідь на за-

пити, що надходять в режимі-А, режимі-С і режимі-*S* від радіолокаційних систем служби управління повітряним рухом, а також від інших літаків, обладнаних системою TCAS;  $F_{23} = F_{ODSS}$  – обмін даними з сумісними системами;  $F_{24} = F_{VPZ}$  – встановлення прямого зв'язку за допомогою присвоєної унікальної адреси;  $F_{25} = F_{PDBV}$  – передавання даних від датчика барометричної висоти та з пульта управління в обчислювальний блок системи TCAS;  $F_{26} = F_{VVI}$  – виведення інформації про показник вертикальної швидкості (VSI) з дисплеєм попереджень про повітряну обстановку та рекомендацій щодо усунення конфліктної ситуації

(TRA);  $F_{27} = F_{YRT}$  – установка режиму роботи TCAS і відповідача режиму-*S*;  $F_{28} = F_{YKV}$  – установка кодів відповіді на запити радіолокатора служби УПР;  $F_{29} = F_{PRS}$  – перевірка роботи системи;  $F_{30} = F_{PIZ}$  – надання польотної інформації (загальної) про всі авіалінії протягом тижневого періоду;  $F_{31} = F_{FIPP}$  – формування інформації про польоти, що має принаймні один доступний клас для продажу чи лист очікування;  $F_{32} = F_{VGVV}$  – виведення графіку всіх рейсів за розкладом;  $F_{33} = F_{MODI}$  – можливість отримання доступу до інформації про конкретну авіакомпанію для продажу або заповнення листа очікування.

Таблиця 4

Представлення множин функцій

Система / Підсистема	Множина компонентів підсистеми	Значення $l$	Функції множин компонентів	Назва функцій множин компонентів
$S_{1.4}$	$C_{SOD}$	15	$F_1, F_2, \dots, F_{15}$	$F_{OSG}, F_{POI}, \dots, F_{ZBP}$
$S_{2.4.2}$	$C_{TCAS}$	14	$F_{16}, F_{17}, \dots, F_{29}$	$F_{PPR}, F_{ZIL}, \dots, F_{PRS}$
$S_{3.2.1}$	$C_{AMDS}$	4	$F_{30}, F_{31}, \dots, F_{33}$	$F_{PIZ}, F_{FIPP}, \dots, F_{MODI}$

**Етап 3 – Визначення переліку можливих переривань роботи кожного компонента системи.** Для системи  $S_{1.4}$  множини компонентів  $C_{SOD}$  при  $p = 9$ , з використанням (8) в [1], представимо множину переривань роботи таким чином:

$$D_{SOD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 D_i \right\} = \{D_1, D_2, \dots, D_9\} = \{D_{VNIS}, D_{NOPS}, D_{PFOD}, D_{PNI}, D_{VZZ}, D_{NSD}, D_{VRTZ}, D_{VPKS}, D_{VAF}\},$$

де  $D_1 = D_{VNIS}$  – виявлення не існуючого сигналу;  $D_2 = D_{NOPS}$  – неправильна оцінка параметрів сигналу;  $D_3 = D_{PFOD}$  – порушення функції з обробки даних та їхнього розповсюдження;  $D_4 = D_{PNI}$  – припинення надходження інформації про польоти повітряних суден;  $D_5 = D_{VZZ}$  – втрата або знищення запису, пристрою запису;  $D_6 = D_{NSD}$  – НСД до пристрою запису;  $D_7 = D_{VRTZ}$  – втрата радіо або телефонного зв'язку з екіпажами ПС, суміжними диспетчерськими пунктами та іншими учасниками руху;  $D_8 = D_{VPKS}$  – виникнення потенційних конфліктних ситуацій ПКС;  $D_9 = D_{VAF}$  – виявлення аварійного чинника [11].

Аналогічним чином, для систем  $S_{2.4.2}$  згідно [12-13] та  $S_{3.2.1}$  згідно [14-15], множини

компонентів  $C_{TCAS}$  та  $C_{AMDS}$ , при  $p = 9$  та  $p = 17$  відповідно, з використанням (8) в [1] представимо множину переривань роботи (табл. 5), де  $D_{10} = D_{VNA}$  – відмова направленої антени;  $D_{11} = D_{VOBS}$  – відмова обчислювального блоку системи;  $D_{12} = D_{TCF}$  – «TCAS FAIL», якщо в польоті сталася відмова обладнання, мінімально необхідного для роботи системи TCAS;  $D_{13} = D_{XPF}$  – «XPNDR FAIL» відмова відповідача режиму-*S*, виникає в разі припинення надходження на відповідач режиму-*S* достовірних даних про висоту від барометричного висотоміра;  $D_{14} = D_{TCO}$  – «TCAS OFF» (система TCAS відключена, або відбуваються неполадки всередині системи);  $D_{15} = D_{VSF}$  – «VSI FAIL» (відмова показчика вертикальної швидкості), коли стрілка вертикальної швидкості на дисплеї VSI не відображається;  $D_{16} = D_{TDF}$  – «TD FAIL» (відмова індикатора повітряної обстановки) з'являється в разі, коли система TCAS-2000 не в змозі відображати попередження про повітряну обстановку;  $D_{17} = D_{RAF}$  – «RA FAIL» (відмова видачі повідомлень RA) з'являється коли система TCAS не в змозі відображати рекомендації щодо усунення конфлік-

тної ситуації;  $D_{18} = D_{NPY}$  – несправність, або вихід із ладу пульту управління;  $D_{19} = D_{ZSD}$  – збій в оновленні дат (періодів);  $D_{20} = D_{NIPA}$  – неповнота інформації про авіакомпанії;  $D_{21} = D_{NZI}$  – надання застарілої інформації;  $D_{22} = D_{NNI}$  – недостовірність наданої інформації;  $D_{23} = D_{NIMP}$  – ненадання інформації щодо можливості посадки (показується лише розклад, незалежно від

того чи є у наявності місця);  $D_{24} = D_{VMPK}$  – відсутність можливості придбати квиток, якщо авіакомпанія не має згоди про продаж з Amadeus;  $D_{25} = D_{NZD}$  – неможливість знайти дані про авіакомпанію для попередження про можливі загрози або отримання необхідної інформації.

Таблиця 5

Представлення множин переривань роботи

Система / Підсистема	Множина компонентів підсистеми	Значення $p$	Переривання роботи	Назва переривань роботи
$S_{1.4}$	$C_{SOD}$	9	$D_1, D_2, \dots, D_9$	$D_{VNIS}, D_{NOPS}, \dots, D_{VAF}$
$S_{2.4.2}$	$C_{TCAS}$	9	$D_{10}, D_{11}, \dots, D_{18}$	$D_{VNA}, D_{VOBS}, \dots, D_{NPY}$
$S_{3.2.1}$	$C_{AMDS}$	7	$D_{19}, D_{20}, \dots, D_{25}$	$D_{ZSD}, D_{NIPA}, \dots, D_{NZD}$

**Етап 4 – Визначення наслідків кожного можливого переривання роботи.** Для кожного можливого переривання роботи множини  $D_{SOD}$  при  $q = 10$ , з використанням (9) в [1], представимо множину наслідків переривань таким чином:

$$E_{SOD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{10} E_i \right\} = \{ E_1, E_2, \dots, E_{10} \} = \{ E_{NPR}, E_{PRSY}, E_{VVPS}, E_{VRLP}, E_{NODD}, E_{VRTZ}, E_{PRVZ}, E_{VNM}, E_{ZPS}, E_{PRZ} \},$$

де  $E_1 = E_{NPR}$  – неправильне прийняття рішень, через недостовірний аналіз повітряної обстановки;  $E_2 = E_{PRSY}$  – порушення роботи систем управління, електроживлення, зв'язку, пілотування, нестача палива, перебої в життєзабезпеченні екіпажу і пасажирів, відмова двигунів, руйнування окремих конструкцій літака;  $E_3 = E_{VVPS}$  – відсутність можливості відслідковування повітряних суден;  $E_4 = E_{VRLP}$  – втрата можливості розслідування льотної пригоди ЛП;  $E_5 = E_{NODD}$  – неможливість оцінки дій диспетчера;  $E_6 = E_{VRTZ}$  – відсутність радіо або телефонного зв'язку;  $E_7 = E_{PRVZ}$  – порушення рекомендацій по вирішенню загрози зіткнення;  $E_8 = E_{VNM}$  – вибір неправильного маневру;  $E_9 = E_{ZPS}$  – зіткнення повітряних суден;  $E_{10} = E_{PRS}$  – порушення роботи систем управління, електрожив-

лення, зв'язку, пілотування, нестача палива, перебої в життєзабезпеченні екіпажу і пасажирів, відмова двигунів, руйнування окремих конструкцій літака [11].

Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи множин  $D_{TCAS}$  згідно [12] та  $D_{AMDS}$  згідно [14], при  $q = 3$  та  $q = 6$  відповідно, з використанням (9) в [1], представимо множину переривань роботи (табл. 6), де  $E_{11} = E_{NVVP}$  – система TCAS 2000 може бути тимчасово не в змозі визначити відносний пеленг конфліктуючого літака через великий кут крену, що призводить до затінення направленої антени;  $E_{12} = E_{NVP}$  – неможливість відображення рекомендацій щодо усунення конфліктної ситуації;  $E_{13} = E_{NVPY}$  – неможливість використання пульту управління відповідно;  $E_{14} = E_{NRS}$  – неможливість роботи системи в реальному часі;  $E_{15} = E_{VIA}$  – відсутність інформації про авіакомпанії;  $E_{16} = E_{NOOI}$  – неможливість отримання оперативної інформації для бронювання польоту;  $E_{17} = E_{MZGP}$  – можливий збій в графіку польотів або виникнення потреби його переформування;  $E_{18} = E_{VPZD}$  – виникнення проблем з дозправкою, можливість появи загрози зіткнення;  $E_{19} = E_{NSP}$  – непоінформованість співробітників, що загрожує прийняттям неправильного рішення.



Представлення множин наслідків переривань роботи

Переривання роботи	Значення $q$	Наслідки переривань роботи	Назви наслідків переривань роботи
$\mathbf{D}_{SOD}$	10	$E_1, E_2, \dots, E_{10}$	$E_{NPR}, E_{PRSY}, \dots, E_{PRZ}$
$\mathbf{D}_{TCAS}$	3	$E_{11}, E_{12}, E_{13}$	$E_{NVVP}, E_{NVP}, E_{NVPY}$
$\mathbf{D}_{AMDS}$	6	$E_{14}, E_{15}, \dots, E_{19}$	$E_{NRS}, E_{VIA}, \dots, E_{NSP}$

**Етап 5 – Ідентифікація ознак виявлення переривання роботи.** Для можливих переривань роботи  $\mathbf{D}_{SOD}$ , з використанням (10),(11) в [1], при  $r = 0$  (у обраній множині переривань роботи не виявлено жодної ознаки  $O_i$ ), а для множини  $\mathbf{D}_{TCAS}$ , згідно [12-13] та  $\mathbf{D}_{AMDS}$ , згідно [14-15], при  $r = 1$  та  $r = 3$  відповідно, з використанням (10), (11) в [1] представимо множину ознак виявлення переривань роботи (табл. 7) таким чином:

$$\mathbf{O} = \left\{ \bigcup_{i=1}^4 O_i \right\} = \{O_1, O_2, \dots, O_4\} = \{O_{VSI}, O_{TIM}, O_{AUS}, O_{SCH}\},$$

де  $O_1 = O_{VSI}$  – дисплей VSI/TRA;  $O_2 = O_{TIM}$  – Timetable (екран загального розкладу);  $O_3 = O_{AUS}$  – Amadeus Access Update/Amadeus Access Sell;  $O_4 = O_{SCH}$  – Schedule (екран розкладу).  
 Враховуючи (11) в [1],  $E(O_{VSI}, D_i) = E(O_{TIM}, D_i) = E(O_{AUS}, D_i) = E(O_{SCH}, D_i) = 1$ .

Таблиця 7

Представлення множин ознак виявлення переривань роботи

Переривання роботи	Значення $r$	Наслідки переривань роботи	Назви наслідків переривань роботи
$\mathbf{D}_{TCAS}$	1	$O_1$	$O_{VSI}$
$\mathbf{D}_{AMDS}$	3	$O_2, O_3, O_4$	$O_{TIM}, O_{AUS}, O_{SCH}$

**Етап 6 – Ідентифікація способів виявлення переривань роботи.** Для кожного можливого переривання роботи множин  $\mathbf{D}_{SOD}$  згідно [11],  $\mathbf{D}_{TCAS}$  згідно [13] та  $\mathbf{D}_{AMDS}$  згідно [15], з використанням (12) в [1], при  $s = 7, s = 1, s = 1$  відповідно, представимо множину способів виявлення переривань (табл. 8) таким чином:

$$\mathbf{W}_{SOD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 W_i \right\} = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8, W_9\} = \{W_{SAZS}, W_{SOPD}, W_{ASAZ}, W_{BBRP}, W_{SGZ}, W_{AZS}, W_{SZBP}, W_{TCAS}, W_{AAIR}\},$$

де  $W_1 = W_{SAZS}$  – системи автоматичного залежного спостереження;  $W_2 = W_{SOPD}$  – система обробки польотних даних (FDPS);  $W_3 = W_{ASAZ}$  – автоматизовані системи авіаційного забезпе-

чення;  $W_4 = W_{BBRP}$  – бортові багатоканальні реєстратори параметрів польоту «чорні ящики»;  $W_5 = W_{SGZ}$  – системи голосового зв'язку;  $W_6 = W_{AZS}$  – автоматизовані засоби спостереження, зв'язку, обробки інформації та бортові системи попередження зіткнень;  $W_7 = W_{SZBP}$  – системи забезпечення безпеки польотів;  $W_8 = W_{TCAS}$  – система TCAS;  $W_9 = W_{AAIR}$  – Amadeus AIR.

**Етап 7 – Побудова тривимірної матриці критичності.** Для системи  $\mathbf{S}_{1.4}$  сформуємо таблицю критичності [8, 16-17] за такими параметрами «ймовірність – тяжкість – кількість переривань роботи системи» згідно табл. 2 та табл. 3 в [1] та побудуємо тривимірну матрицю критичності (рис. 2).

Таблиця 8

Представлення множин способів виявлення переривань

Переривання роботи	Значення $s$	Наслідки переривань роботи	Назви наслідків переривань роботи
$\mathbf{D}_{SOD}$	7	$W_1, W_2, \dots, W_7$	$W_{SAZS}, W_{SOPD}, \dots, W_{SZBP}$
$\mathbf{D}_{TCAS}$	1	$W_8$	$W_{TCAS}$
$\mathbf{D}_{AMDS}$	1	$W_9$	$W_{AAIR}$

Аналогічним чином для систем  $S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$  формуємо таблицю критичності згідно табл. 2 та табл. 3 в [1] та будуємо тривимірну матрицю (рис. 3 та рис. 4 відповідно).

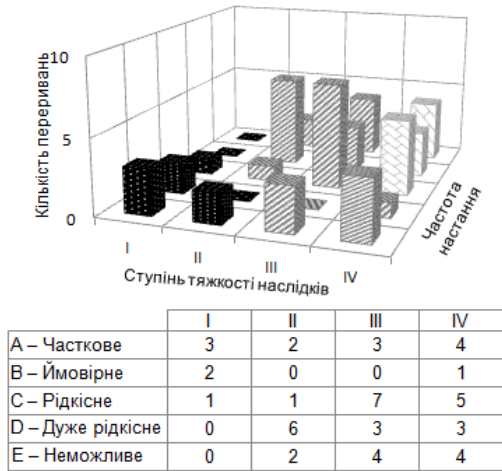


Рис. 2. Тривимірна матриця критичності для  $S_{SOD}$

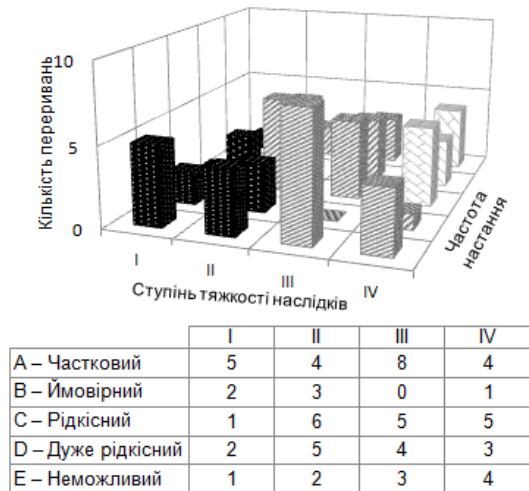


Рис. 3. Тривимірна матриця критичності для  $S_{TCS}$



Рис. 4. Тривимірна матриця критичності для  $S_{AMDS}$

**Етап 8 – Розрахунок рангу критичності ймовірних переривань.** *Крок 1.* Для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNS}$ , визначимо показник  $B_{1i}$  (оцінка частоти) за (15) в [1], де значення  $z$  знаходимо відповідно до табл. 5 в [1]. Отже визначимо показник  $B_1 = 5$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , визначаємо показник  $B_{1i}$  за (15) в [1], табл. 5 в [1] та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 13).

*Крок 2.* Для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNS}$ , визначимо показник  $B_{2i}$  (оцінка ймовірності виявлення  $D_i$  компонента  $C_i$  до його проявлення) за (16) в [1], де значення  $x$  знаходимо аналогічно за табл. 6 в [1]. Отже, визначимо показник  $B_2 = 4$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , визначаємо показник  $B_{2i}$  за (16) в [1], табл. 6 в [1] та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 13).

*Крок 3.* Аналогічним чином, як і у виразах (15), (16) в [1], для визначення показника  $B_{3i}$  (оцінка тяжкості  $D_i$  компонента  $C_i$ ) введемо множину:

$$B'_3 = \left\{ \bigcup_{j=1}^c B_{3j} \right\} = \{B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}\}, \quad (1)$$

де значення  $c$  знаходяться аналогічно до табл. 5 в [1] та табл. 6 в [1] (див. табл. 7 в [1]).

Для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNS}$ , визначимо показник  $B_{3i}$  (оцінка тяжкості  $D_i$  компонента  $C_i$ ) за (1), де значення  $c$  знаходимо аналогічно (див. табл. 7) [1]. Отже, визначимо показник  $B'_3 = 7$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , визначаємо показник  $B'_3$  за (1), табл. 7 в [1] та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 13).

*Крок 4.* Розрахунок вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи. Вагові коефіцієнти тяжкості наслідків представлені згідно [19] у (табл. 9).

Вагові коефіцієнти тяжкості наслідків

Значення Критерії	1	2	3	4	5
Кількість залучених громадян (здоров'я та соціальні наслідки) (7)	0-5 загиблих	6-20 загиблих	21-100 загиблих	101-499 загиблих	≥ 500 загиблих
Економічний ефект (6)	< 100 млн.	100-499 млн.	500 млн. – 2,9 млрд.	2,9 млрд. – 6,9 млрд.	> 7 млрд.
Вплив на навколишнє середовище(5)	<1 га. або 0,0001% водних ресурсів	1-10 га. або 0,0001 - 0,001 % водних ресурсів	10-100 га. або 0,001 - 0,01 % водних ресурсів	100-1000 га. або 0,01 - 0,1 % водних ресурсів	> 1000 га. або > 0,1 % водних ресурсів
Політичні наслідки (4)	Мінімальні	Соціальне невдоволення	Мітинги, протести	Масові заворушення	Революція, війна
Масштабність за територією (3)	Окрема будівля	Селище, село	Район, місто	Область	Держава
Тривалість (2)	до години	доба	3 доби	5 діб	10 діб
Взаємозалежність секторів КІ (1)	Майже відсутня	Не викликає руйнації	Викликає руйнацію одного сектору	Викликає руйнацію двох секторів	Викликає руйнацію трьох і більше секторів

Крок 4.1. Введемо множину вагових коефіцієнтів  $\mathbf{VK}$ , що коригуватиме значення показника  $B_{3i}$  (оцінка тяжкості переривань роботи  $D_i$  компонента  $C_i$ ):

$$\mathbf{VK} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{VK}_i \right\} = \{ \mathbf{VK}_1, \mathbf{VK}_2, \dots, \mathbf{VK}_n \}, \quad (2)$$

де  $\mathbf{VK}_i \subseteq \mathbf{VK}$ , ( $i = \overline{1, n}$ ) – критерії вагових коефіцієнтів,  $n$  – загальна кількість критеріїв.

Наприклад, для вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи згідно [19], при  $n = 7$  з урахуванням (2), визначимо повну множину критеріїв вагових коефіцієнтів таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{VK} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^7 \mathbf{VK}_i \right\} = \{ \mathbf{VK}_1, \mathbf{VK}_2, \dots, \mathbf{VK}_7 \} = \\ &= \{ \mathbf{VK}_{KZG}, \mathbf{VK}_{EKON}, \mathbf{VK}_{VNNS}, \mathbf{VK}_{POLN}, \\ &\quad \mathbf{VK}_{MZT}, \mathbf{VK}_{TRV}, \mathbf{VK}_{VSKI} \}, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{VK}_1 = \mathbf{VK}_{KZG}$  – кількість залучених громадян (здоров'я та соціальні наслідки);  $\mathbf{VK}_2 = \mathbf{VK}_{EKON}$  – економічний ефект;  $\mathbf{VK}_3 = \mathbf{VK}_{VNNS}$  – вплив на навколишнє середовище;  $\mathbf{VK}_4 = \mathbf{VK}_{POLN}$  – політичні наслідки;  $\mathbf{VK}_5 = \mathbf{VK}_{MZT}$  – масштабність за територією;  $\mathbf{VK}_6 = \mathbf{VK}_{TRV}$  – тривалість;  $\mathbf{VK}_7 = \mathbf{VK}_{VSKI}$  – взаємозалежність секторів КІ (наслідком руйнації одного є руйнація інших) згідно [19].

Слід зазначити, що у табл. 9 критерії коефіцієнтів тяжкості наслідків розміщено за пріоритетом у порядку спадання (найбільш важливий – 7, а найменш важливий – 1)

Крок 4.2. Множина критеріїв  $\mathbf{VK}_i$  може бути представлена у такому вигляді:

$$\mathbf{VK}_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{VK}_{ij} \right\} = \{ \mathbf{VK}_{i1}, \mathbf{VK}_{i2}, \dots, \mathbf{VK}_{im_i} \}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{VK}_{ij} \subseteq \mathbf{VK}_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ) – коефіцієнти  $i$ -го критерію,  $m_i$  – кількість значень  $i$ -го критерію.

З урахуванням (3), вираз (2) можна представити у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \mathbf{VK} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{VK}_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{VK}_{ij} \right\} \right\} = \\ &= \{ \{ \mathbf{VK}_{11}, \mathbf{VK}_{12}, \dots, \mathbf{VK}_{1m_1} \}, \{ \mathbf{VK}_{21}, \mathbf{VK}_{22}, \dots, \mathbf{VK}_{2m_2} \}, \dots, \\ &\quad \{ \mathbf{VK}_{n1}, \mathbf{VK}_{n2}, \dots, \mathbf{VK}_{nm_n} \} \}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}). \end{aligned} \quad (4)$$

Наприклад, при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$  з використанням (3), представимо множину коефіцієнтів  $\mathbf{VK}_1$  таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{VK}_1 &= \mathbf{VK}_{KZG} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \mathbf{VK}_{1j} \right\} \\ &= \{ \mathbf{VK}_{1.1}, \mathbf{VK}_{1.2}, \mathbf{VK}_{1.3}, \mathbf{VK}_{1.4}, \mathbf{VK}_{1.5} \} = \\ &= \{ \mathbf{VK}_{0-5}, \mathbf{VK}_{6-20}, \mathbf{VK}_{D100}, \mathbf{VK}_{D499}, \mathbf{VK}_{B500} \}, \end{aligned}$$

де  $\mathbf{VK}_{1.1} = \mathbf{VK}_{0-5}$  – 0-5 загиблих;  $\mathbf{VK}_{1.2} = \mathbf{VK}_{6-20}$  – 6-20 загиблих;  $\mathbf{VK}_{1.3} = \mathbf{VK}_{D100}$  – 21-100 загиблих;  $\mathbf{VK}_{1.4} = \mathbf{VK}_{D499}$  – 101-499 загиблих;  $\mathbf{VK}_{1.5} = \mathbf{VK}_{B500}$  – ≥ 500 згідно [19].

Аналогічним чином, для множин коефіцієнтів  $VK_2, VK_3, \dots, VK_7$ , при  $n = 2, 7$  та  $m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = 5$  відповідно, з використанням (3) представимо множини коефіцієнтів за допомогою (табл. 10), де  $VK_{2.1} = VK_{D100M} < 100$  млн.;  $VK_{2.2} = VK_{D499M} - 100-499$  млн.;  $VK_{2.3} = VK_{D2.9M} - 500$  млн. - 2,9 млрд.;  $VK_{2.4} = VK_{D6.9M} - 2,9$  млрд. - 6,9 млрд.;  $VK_{2.5} = VK_{B7M} > 7$  млрд.;  $VK_{3.1} = VK_{MIG} < 1$  га. або 0,0001% водних ресурсів;  $VK_{3.2} = VK_{D10G} - 1-10$  га, або 0,0001 - 0,001 % водних ресурсів;  $VK_{3.3} = VK_{D100G} - 10-100$  га, або 0,001 - 0,01 % водних ресурсів;  $VK_{3.4} = VK_{D1000G} - 100-1000$  га, або 0,01 - 0,1 % водних ресурсів;  $VK_{3.5} = VK_{B1000G} > 1000$  га, або  $> 0,1$  % водних ресурсів;  $VK_{4.1} = VK_{MIN} -$  мінімальні;

$VK_{4.2} = VK_{SOCN} -$  соціальне невдоволення;  $VK_{4.3} = VK_{MITG} -$  мітинги, протести;  $VK_{4.4} = VK_{MASZ} -$  масові заворушення;  $VK_{4.5} = VK_{REV} -$  революція, війна;  $VK_{5.1} = VK_{OBYD} -$  окрема будівля;  $VK_{5.2} = VK_{SEL} -$  селище, село;  $VK_{5.3} = VK_{RGN} -$  район, місто;  $VK_{5.4} = VK_{OBL} -$  область;  $VK_{5.5} = VK_{DER} -$  держава;  $VK_{6.1} = VK_{DGOD} -$  до години;  $VK_{6.2} = VK_{DOBA} -$  доба;  $VK_{6.3} = VK_{3DOB} -$  3 доби;  $VK_{6.4} = VK_{5DOB} -$  5 днів;  $VK_{6.5} = VK_{10DIB} -$  10 днів;  $VK_{7.1} = VK_{MVID} -$  майже відсутня;  $VK_{7.2} = VK_{NVR} -$  не викликає руйнації;  $VK_{7.3} = VK_{VR1S} -$  викликає руйнацію одного сектору;  $VK_{7.4} = VK_{VR2S} -$  викликає руйнацію двох секторів;  $VK_{7.5} = VK_{VR3S} -$  викликає руйнацію трьох і більше секторів [19].

Таблиця 10

Представлення множин коефіцієнтів

Вагові коефіцієнти	Назва коефіцієнтів	Значення $m_i$	Множина коефіцієнтів	Назва множин коефіцієнтів
$VK_1$	$VK_{KZG}$	5	$VK_{1.1}, VK_{1.2}, VK_{1.3}, VK_{1.4}, VK_{1.5}$	$VK_{0-5}, VK_{6-20}, VK_{D100}, VK_{D499}, VK_{B500}$
$VK_2$	$VK_{EKON}$		$VK_{2.1}, VK_{2.2}, VK_{2.3}, VK_{2.4}, VK_{2.5}$	$VK_{D100M}, VK_{D499M}, VK_{D2.9M}, VK_{D6.9M}, VK_{B7M}$
$VK_3$	$VK_{VNNS}$		$VK_{3.1}, VK_{3.2}, VK_{3.3}, VK_{3.4}, VK_{3.5}$	$VK_{MIG}, VK_{D10G}, VK_{D100G}, VK_{D1000G}, VK_{B1000G}$
$VK_4$	$VK_{POLN}$		$VK_{4.1}, VK_{4.2}, VK_{4.3}, VK_{4.4}, VK_{4.5}$	$VK_{MIN}, VK_{SOCN}, VK_{MITG}, VK_{MASZ}, VK_{REV}$
$VK_5$	$VK_{MZT}$		$VK_{5.1}, VK_{5.2}, VK_{5.3}, VK_{5.4}, VK_{5.5}$	$VK_{OBYD}, VK_{SEL}, VK_{RGN}, VK_{OBL}, VK_{DER}$
$VK_6$	$VK_{TRV}$		$VK_{6.1}, VK_{6.2}, VK_{6.3}, VK_{6.4}, VK_{6.5}$	$VK_{DGOD}, VK_{DOBA}, VK_{3DOB}, VK_{5DOB}, VK_{10DIB}$
$VK_7$	$VK_{VSKI}$		$VK_{7.1}, VK_{7.2}, VK_{7.3}, VK_{7.4}, VK_{7.5}$	$VK_{MVID}, VK_{NVR}, VK_{VR1S}, VK_{VR2S}, VK_{VR3S}$

Крок 4.3. Визначимо елементи множини показників  $B_3$  наступним чином:

$$B_3 = B_{3j} \cdot VK_k, \quad (5)$$

де значення вагового коефіцієнта  $VK_k$  ( $k = 1, p$ ) для кожного можливого переривання роботи  $D_i$  (див. (8) в [1]) розраховується таким чином:

$$VK_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{i=1}^n \frac{VK_{ij}}{VK_{ij}^{max}}, \quad (6)$$

де  $VK_{ij}^{max}$  – максимальне значення коефіцієнта  $i$ -го критерію (розраховується як добуток пріоритету критерію та найбільшого значення критерію і згідно табл. 9 змінюється від 35 до 5 у порядку спадання пріоритету).

Для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$  показник  $B'_3 = 7$ , а значення вагового коефіцієнта, згідно табл. 9 (виділено сірим кольором) та за (6), обчислюється так:

$$VK_{VNIS} = \frac{1}{7} \left( \frac{28}{35} + \frac{18}{30} + \frac{5}{25} + \frac{16}{20} + \frac{15}{15} + \frac{4}{10} + \frac{5}{5} \right) = \frac{24}{35} \approx 0,7,$$

тоді  $B_3 = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \approx 5$ .

Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , розрахуємо показники  $B_3$  з урахуванням вагових коефіцієнтів  $VK_i$ , а отримані дані заносимо до табл. 11 та звіту (етап 11, табл. 13).

Розрахунок значень вагових коефіцієнтів

Система / Підсистема	Значення $p$	Назва	Розраховане значення $VK_i$	Значення $B'_3$	Значення $B_3$
$S_{1.4}$	9	$VK_{VNIS}, VK_{NOPS}, \dots, VK_{VAF}$	$0,7; 0,7; 0,7; 0,8; 0,6;$ $0,7; 0,8; 0,7; 0,6$	$7; 8; 9; 8; 8;$ $8; 9; 9; 8$	$5; 6; 6; 6; 5;$ $6; 7; 6; 5$
$S_{2.4.2}$	9	$VK_{VNA}, VK_{VOBS}, \dots, VK_{NPY}$	$0,7; 0,8; 0,8; 0,8; 0,8;$ $0,8; 0,7; 0,8; 0,8$	$9; 8; 7; 7; 9;$ $7; 8; 9; 7$	$6; 6; 6; 7; 7;$ $6; 6; 7; 6$
$S_{3.2.1}$	7	$VK_{ZSD}, VK_{NPA}, \dots, VK_{NZD}$	$0,6; 0,6; 0,7; 0,7;$ $0,7; 0,6; 0,7$	$8; 5; 5; 8;$ $6; 6; 5$	$6; 3; 4; 6;$ $4; 4; 4$

**Фрок 5.** Розрахунок рангу критичності  $R_i$  кожного з перерахованих видів переривань роботи  $D_i$  згідно (14) в [1] та [18]. Наприклад, для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , розрахуємо показник рангу критичності  $R_1 = 5 \cdot 4 \cdot 5 = 100$  та отримані дані занесемо до звіту (етап 11). Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , розрахуємо показники рангу критичності переривань та отримані дані занесемо до звіту (етап 11, табл. 13).

**Етап 9 – Виділення переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи.** Для системи  $S_{1.4}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , розрахований ранг критичності якого становить  $R_1 = 5 \cdot 4 \cdot 5 = 100$ , відповідно до правила визначення критичності (див. (18) в [1]),  $D_1 = D_{VNIS}$  відноситься до рівня *Middle*, потребує розробки коригувальних заходів для зменшення рівня критичності. Отримані дані виділяємо у звіті (етап 11, табл. 13) за допомогою відповідного кольору, якщо  $D_i$ , відповідно до (18) в [1], відноситься до рівня критичності *High*, то  $R_i$  в табл. 13 позначається чорним кольором, якщо  $D_i$  відноситься до рівня *Middle* – сірим кольором, якщо  $D_i$  відноситься до рівня *Low* – світло-сірим кольором.

Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$ , ранжуємо розраховані значення рангу критичності за (18) в [1], та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 13).

Крім того, на цьому етапі для виділення переліку найбільш значущих (критичних)  $D_i$  використовується стовпчаста діаграма Парето [16] (рис. 5-7), яка будується окремо для кожної з  $S_{ij}$  (з метою ранжування найбільш значущих (критичних)  $D_i$ ,

по горизонтальній осі діаграми відкладаються  $D_i$ , а по вертикальній – розраховане значення  $R_i$  (див. (14) [1]), якщо  $R_i > R_k$ , то  $D_i$  на діаграмі позначається чорним кольором, якщо  $R_0 < R_i \leq R_k$ , то  $D_i$  на діаграмі позначається сірим кольором, якщо  $R_i \leq R_0$ , то  $D_i$  на діаграмі позначається світло-сірим кольором.

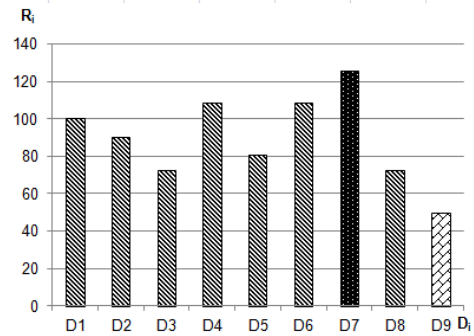


Рис. 5. Результати розрахунків  $R_i$  для  $S_{SOD}$

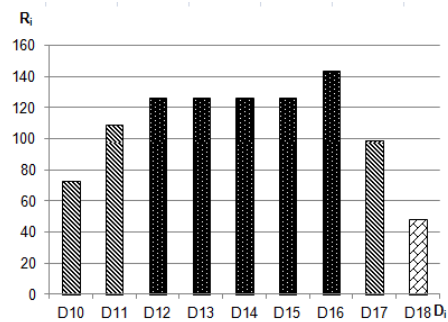


Рис. 6. Результати розрахунків  $R_i$  для  $S_{TCS}$

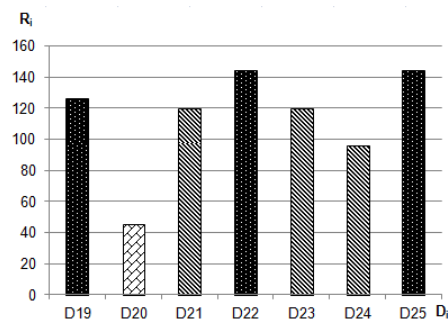


Рис. 7. Результати розрахунків  $R_i$  для  $S_{AMDS}$

Діаграми Парето допомагають виділити перелік найбільш значущих (критичних) переривань

роботи, а також дають можливість порівняти окремі системи за обчисленим рангом критичності та виділити систему, що є найбільш критичною серед КАІС. Для системи  $S_{1,4}$  найбільш критичним є переривання роботи  $D_7$ , розрахунок рангу критичності, проведений за (14) в [1], дав наступний результат:  $R_7 = 3 \cdot 6 \cdot 7 = 126 > R_k = 125$ . Для системи  $S_{2,4,2}$  найбільш критичними є переривання роботи з  $D_{12}$  по  $D_{16}$ , розрахунок рангу критичності, проведений за (14) в [1], дав наступний результат  $R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = 126 > R_k = 125; R_{16} = 144 > R_k = 125$ . Для системи  $S_{3,2,1}$  найбільш критичними є переривання роботи  $D_{19}, D_{22}, D_{25}$  розрахунок рангу критичності, проведений за (14) в [1], дав наступний результат  $R_{19} = 126 > R_k = 125; R_{22} = R_{25} = 144 > R_k = 125$ . Також діаграми Парето дали можливість порівняти системи  $S_{1,4}, S_{2,4,2}$  та  $S_{3,2,1}$  за кількістю критичних переривань роботи та визначити, що система  $S_{2,4,2}$  є найбільш критичною серед обраних систем КАІС.

**Етап 10 – Формування переліку коригувальних заходів.** Для складання переліку коригувальних заходів для систем  $S_{1,4}, S_{2,4,2}$  та  $S_{3,2,1}$  побудуємо причинно-наслідкові діаграми Ісікави [20] (рис. 8-10), що графічно відображають характеристики, з якими пов'язане виникнення переривань роботи  $D_i$  і підвищують ефективність розробки коригувальних заходів.

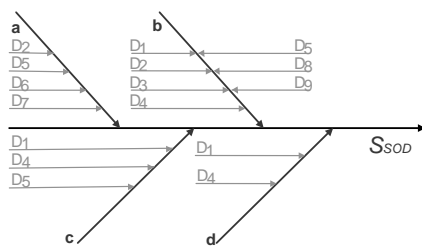


Рис. 8. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{SOD}$

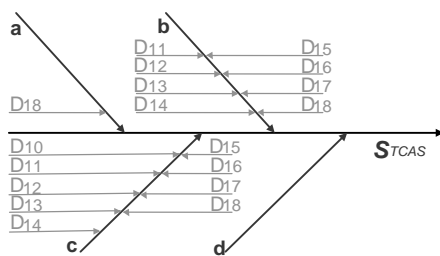


Рис. 9. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{TCAS}$

Причинно-наслідкові діаграми Ісікави для систем  $S_{1,4}, S_{2,4,2}$  та  $S_{3,2,1}$  поділили всі ідентифіковані

$D_i$  за основними причинами їх виникнення, а саме через помилки: користувачів (а), програмного забезпечення (б), апаратного забезпечення (с), мережних технологій (д). Отже, пріоритетними напрямками розробки коригувальних заходів для систем  $S_{1,4}$  та  $S_{3,2,1}$  є усунення причин, пов'язаних з помилками у програмному забезпеченні та помилками користувачів (б та а на рис. 8, 10), для системи  $S_{2,4,2}$  є усунення причин, пов'язаних з апаратним та програмним забезпеченням (б та с на рис. 9).

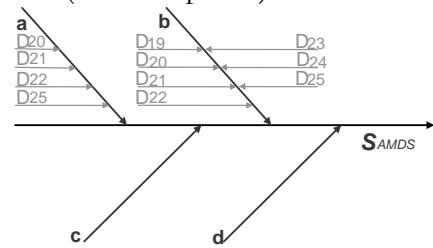


Рис. 10. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{AMDS}$

Після чого для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{1,4}, S_{2,4,2}$  та  $S_{3,2,1}$ , при  $g = 3, g = 2, g = 1$  відповідно, з використанням (19) в [1], представимо множину способів виявлення переривань (які підпадають під рівні *High* та *Middle* за правилом (23) в [1]) таким чином:

$$K = \left\{ \bigcup_{i=1}^6 K_i \right\} = \{ K_1, K_2, \dots, K_6 \} = \{ K_{PONA}, K_{OROB}, K_{OKPD}, K_{ZRTO}, K_{POBR}, K_{VOAA} \},$$

де  $K_1 = K_{PONA}$  – огляд та ремонт направленої антени;  $K_2 = K_{OROB}$  – огляд та ремонт обчислювального блоку системи, де  $K_3 = K_{OKPD}$  – плановий огляд та ремонт каналів передачі даних;  $K_4 = K_{ZRTO}$  – зміна регламенту технічного обслуговування і ремонту;  $K_5 = K_{POBR}$  – плановий огляд бортових реєстраторів параметрів польоту;  $K_6 = K_{VOAA}$  – вчасне оновлення компонентів Amadeus AIR.

Перелік необхідних для імплементації коригувальних заходів для систем  $S_{1,4}, S_{2,4,2}$  та  $S_{3,2,1}$ , представлено у табл. 12. Оцінка ефективності коригувальних заходів проводиться шляхом повторного розрахунку  $R_i$  (див. етап 8). Далі, оперуємо початковим значенням  $R_{begin}$  ( $R_i$  до імплементації  $K_i$ ) і кінцевим  $R_{finish}$  ( $R_i$  після імплементації  $K_i$ ): якщо  $R_{finish} < R_k$ , то коригувальні заходи, спрямовані на зменшення рангу критичності, можна рекомендувати до використання.

Таблиця 12

Перелік коригувальних заходів

$S_{ij} / S_{ijk}$	$D_i$	$R_{begin}$	$K_i$	$R_{finish}$
$S_{SOD}$	$D_1$	100	$K_{OKPD}$	$5 \cdot 3 \cdot 5 = 75$
	$D_2$	90	$K_{OKPD}$	$3 \cdot 4 \cdot 6 = 72$
	$D_3$	72	$K_{ZRTO}$	$3 \cdot 3 \cdot 6 = 54$
	$D_4$	108	$K_{OKPD}$	$3 \cdot 5 \cdot 6 = 90$
	$D_5$	80	$K_{POBR}$	$2 \cdot 7 \cdot 4 = 56$
	$D_6$	108	$K_{POBR}$	$3 \cdot 5 \cdot 6 = 90$
	$D_7$	126	$K_{ZRTO}$	$3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$
	$D_8$	72	$K_{OKPD}$	$3 \cdot 4 \cdot 6 = 72$
$S_{TCAS}$	$D_1$	72	$K_{PONA}$	$3 \cdot 3 \cdot 6 = 54$
	$D_2$	108	$K_{OROB}$	$3 \cdot 5 \cdot 6 = 90$
	$D_3$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_4$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_5$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$
	$D_6$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 7 \cdot 5 = 105$
	$D_7$	144	$K_{OROB}$	$4 \cdot 5 \cdot 6 = 120$
	$D_8$	98	$K_{OROB}$	$2 \cdot 7 \cdot 7 = 98$

Продовження таблиці 12

$S_{AMDS}$	$D_1$	126	$K_{VOAA}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_3$	120	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 4 = 80$
	$D_4$	144	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 6 = 120$
	$D_5$	120	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 4 = 80$
	$D_6$	96	$K_{VOAA}$	$2 \cdot 6 \cdot 4 = 48$
	$D_7$	144	$K_{VOAA}$	$5 \cdot 6 \cdot 4 = 120$

З табл. 12 видно які коригувальні заходи можуть бути імплементовані та на скільки вони зменшують рівень критичності (сірим кольором позначені  $D_i$ , які за допомогою коригувальних заходів стали незначними *Low*, а світло сірим позначені  $D_i$ , які за допомогою коригувальних заходів перейшли з рівня *High* у рівень *Middle*).

**Етап 11 – Складання звіту.** На цьому етапі відбувається систематизація даних, отриманих на попередніх етапах ( $S_i / S_{ij} / S_{ijk}, C_i, F_i, D_i, E_i, O_i, W_i$  та  $R_i$ ), візуалізація якісних та обчислення кількісних значень критичності КАІС. Етап передбачає систематизацію всієї інформації у вигляді таблиці. Приклад побудови звіту для систем  $S_{1.4}, S_{2.4.2}$  та  $S_{3.2.1}$  представлено у табл. 13.

Таблиця 13

Звіт для всіх рівнів аналізу

$S_i / S_{ij} / S_{ijk}$	$C_i$	$F_i$	$D_i$	$E_i$	$O_i$	$W_i$	$R_i$				
							$B_1$	$B_2$	$B_3$	$R_i$	
$S_{1.4}$	$C_1$	$F_1$	$D_1$	$E_1$		$W_1$	5	4	5	100	
	$C_2$	$F_2$	$D_2$	$E_2$		$W_1$	3	5	6	90	
	$C_3$	$F_3$	$D_3$	$E_3$		$W_2$	3	4	6	72	
	$C_4$	$F_4$	$D_4$	$E_4$		$W_3$	3	6	6	108	
	$C_5$	$F_5$	$D_5$	$E_5$		$W_4$	2	8	5	80	
	$C_6$	$F_6$	$D_6$	$E_6$		$W_4$	3	6	6	108	
	$C_7$	$F_7$	$D_7$	$E_7$		$W_5$	3	6	7	126	
			$F_8$	$D_8$	$E_8$		$W_6$	3	4	6	72
			$F_9$	$D_9$	$E_9$		$W_7$	2	5	5	50
			...		$E_{10}$						
			$F_{15}$								
	$S_{2.4.2}$	$C_8$	$F_{16}$	$D_{10}$	$E_{11}$	$O_1$	$W_8$	3	4	6	72
		$C_9$	$F_{17}$	$D_{11}$	$E_{12}$	$O_1$	$W_8$	3	6	6	108
		$C_{10}$	$F_{18}$	$D_{12}$	$E_{13}$	$O_1$	$W_8$	3	7	6	126
		$C_{11}$	$F_{19}$	$D_{13}$		$O_1$	$W_8$	3	7	7	126
$C_{12}$		$F_{20}$	$D_{14}$		$O_1$	$W_8$	3	6	7	126	
			$F_{21}$	$D_{15}$		$O_1$	$W_8$	3	7	6	126

		$F_{22}$	$D_{16}$		$O_1$	$W_8$	4	6	6	144
		$F_{23}$	$D_{17}$		$O_1$	$W_8$	2	7	7	98
		$F_{24}$	$D_{18}$			$W_8$	2	4	6	48
		...								
		$F_{29}$								
$S_{3.2.1}$	$C_{13}$	$F_{30}$	$D_{19}$	$E_{14}$	$O_2$	$W_9$	3	7	6	126
	$C_{14}$	$F_{31}$	$D_{20}$	$E_{15}$	$O_2$	$W_9$	3	5	3	45
	$C_{15}$	$F_{32}$	$D_{21}$	$E_{16}$	$O_2$	$W_9$	5	6	4	120
	$C_{16}$	$F_{33}$	$D_{22}$	$E_{17}$	$O_3$	$W_9$	4	6	6	144
			$D_{23}$	$E_{18}$	$O_4$	$W_9$	5	6	4	120
			$D_{24}$	$E_{19}$		$W_9$	4	6	4	96
			$D_{25}$		$O_3$	$W_9$	6	6	4	144

Таким чином, у табл. 13 систематизовано такі вихідні дані запропонованого методу як: перелік компонентів системи, їх функції, види переривань роботи для кожного компонента системи; інформація про причини виникнення та наслідки переривань роботи для кожного компонента системи; розрахунки рангів критичності, результати ранжування – перелік найбільш значущих (критичних) переривань роботи, які відображаються у формалізованому і зручному для експертів вигляді. Інші вихідні дані отримані на різних етапах реалізації методу, зокрема, матриця критичності, яка за зібраними попередніми даними графічно відображає критичність компонентів системи (етап 7), діаграма Парето, яка показує рівень критичності в середині системи та дає можливість порівняти декілька різних систем (етап 9), причинно-наслідкова діаграма Ісікави, що дозволяє виділити пріоритетні напрямки розробки відповідних коригувальних заходів (етап 10).

**Висновки.** У роботі розроблено методіку експериментального дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ держави в галузі ЦА, що, в свою чергу, оперує базовою множиною систем та відповідних підмножин підсистем, компонентами, функціями, порушеннями безперервності роботи, їх ознаками і наслідками, тривимірною матрицею критичності, діаграмами Парето, причинно-наслідковими діаграмами Ісікави та розрахунком додаткових вагових коефіцієнтів критичності. Також, з метою підвищення точності розрахунку рангу критичності, розроблені додаткові вагові коефіцієнти тяжкості наслідків переривань роботи та запропоновані коригувальні заходи, що зменшують рівень критичності.

За зазначеною методикою, на прикладі системи обробки даних, бортової системи попередження зіткнень та глобальної системи резервування (бронювання), виконано дослідження, яке довело адекватність реагування методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ в галузі ЦА на зміну вхідних даних і підтвердило можливість його застосування для оцінювання рівня критичності КАІС.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Л. Щербак, С. Гнатюк, В. Сидоренко, О. Шаховал "Метод визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в галузі цивільної авіації", *Безпека інформації*, Т. 23, №1, С. 27-38, 2017.
- [2]. О. Юдін "Світовий досвід щодо визначення галузей критичної інфраструктури", *Перспективні напрямки захисту інформації: друга всеукр. наук.-практ. конф.*, Одеса: ОНАЗ, С. 82, 2016.
- [3]. О. Юдін "Аналіз підходів до визначення критеріїв віднесення об'єктів до критичної інфраструктури на прикладі європейського союзу", *Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: третя міжнар. наук.-практ. конф.*, К.: Європейський університет, С. 187, 2017.
- [4]. В. Лядовська, М. Рябий, С. Гнатюк "Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захист: аналіз підходів", *Зв'язок*, №4, С. 3-7, 2014.
- [5]. С. Гнатюк, В. Сидоренко, О. Дуксенко "Сучасні підходи до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів критичної інфраструктури", *Безпека інформації*, Т. 21, № 3, С. 269-275, 2015.
- [6]. С. Гнатюк, Р. Одарченко, В. Сидоренко "Аналіз методів розрахунку критичності інформаційних систем" *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016): дев'ята міжнар. наук.-практ. конф.*, К.: НАУ, С. 279-281, 2016.
- [7]. Doc 8973 ICAO «Керівництво з авіаційної безпеки» (Restricted), Вид. 9, 818 с, 2014.



- [8]. В. Харченко, Ирадж Эльясн Комари "Комплексный анализ гарантоспособности информационно-управляющих систем и инфраструктур: FME(C)A-модели и информационная технология", *Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр.*, К., В.1 (23), С. 92-97, 2008.
- [9]. ГОСТ Р 51901.12:2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М. : Стандартинформ, 36 с., 2008.
- [10]. С. Гнаток, Д. Васильев "Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи", *Безпека інформації*, Т. 22, № 1, С. 51-57, 2016.
- [11]. Р. Ахмедов, А. Бибутов, А. Васильев, *Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации: уч. пос.*, СПб.: Политехника, 2004, 446 с.
- [12]. Ф. Яновский, *Радиолокационные системы повитряних суден: підруч.*, К.: НАУ, 2012, 688 с.
- [13]. Система отображения воздушной обстановки и предотвращения столкновений самолетов в воздухе TCAS, ACAS II, Руководство для летчиков, С. 90.
- [14]. "Бронирование авиаперевозок в системе AMADEUS". [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.amadeus.com/cis/documents/aco/cis/Amadeus\\_Basic\\_Course\\_2011\(A5\).pdf](http://www.amadeus.com/cis/documents/aco/cis/Amadeus_Basic_Course_2011(A5).pdf). [Дата доступа: травень 2017].
- [15]. "Austrian Serbian Tourism Programmes Lesson 7 Amadeus AIR". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.slideshare.net/AngelinaNjegus/lesson-7-amadeus-air>. [Дата доступа: травень 2017].
- [16]. Л. Александровская, И. Аронов, В. Круглов, *Безопасность и надежность технических систем: уч. пос.*, М. : Университетская книга, Логос, 2008, 376 с.
- [17]. *Анализ видов, последствий критичности отказов: метод. матер.* М. : НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2005-2011, 21 с.
- [18]. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения, Минск: ИПК Издательство стандартов, 1996, 23 с.
- [19]. НДР «Инфраструктура», № д.р. 0114U000038д.
- [20]. Т. Елисеева "Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО", *Известия ТулГУ. Технические науки*, В. 5, С. 182-186, 2013.
- [1]. L. Sherbak, S. Gnatyuk, V. Sydorenko, O. Shahoval "Method of determination the level of the state critical infrastructure importance in the civil aviation", *Bezpeka informatsii*, vol. 23, no. 1, pp. 27-38, 2017.
- [2]. O. Yudin "World experience in identifying critical infrastructure sectors", *Перспективні напрями захисту інформації: друга всеукр. наук.-практ. конф. Perspective directions of information security: the second ukr. sci. pract. conf.*, Odesa: ONAZ, pp. 82, 2016.
- [3]. O. Yudin "Analysis of approaches to determining criteria for removing objects to critical infrastructure on the example of the European Union", *Topical Issues of Cybersecurity and Information Security: Third International. sci. pract. conf.*, K. : European University, pp. 187, 2017.
- [4]. V. Lyadovskaya, M. Ryabiy, S. Gnatyuk "Definition of critical information infrastructure and its protection: analysis of approaches", *Communication*, no. 4, pp. 3-7, 2014.
- [5]. S. Gnatyuk, V. Sydorenko, O. Duksenko "Modern approaches to critical infrastructure objects detection and identification", *Bezpeka informatsii*, Т. 21, no. 3, pp. 269-275, 2015.
- [6]. S. Gnatyuk, R. Odarchenko, V. Sydorenko "Analysis of the information systems criticality calculating methods" *Integrated intelligent robotic complexes : ninth intern sci. pract. conf.*, K. : NAU, pp. 279-281, 2016.
- [7]. Doc 8973 ICAO «Aviation Safety Guide» (Restricted), no 9, 818 p, 2014.
- [8]. V. Kharchenko, Iraqi Eljasn Komari "Comprehensive analysis of the reliability of information management systems and infrastructures: FME (C) A-models and information technology", *Problems of informatization and management*: K., no .1 (23), pp. 92-97, 2008.
- [9]. GOST P 51901.12:2007. Risk Management. Method of analysis of types and consequences of failures. – М. : Standardinform, 36 p., 2008.
- [10]. S. Gnatyuk, D. Vasiliev "Modern critical aviation information systems", *Безпека інформації*, vol. 22, no. 1, pp. 51-57, 2016.
- [11]. R. Ahmedov, A. Bibutov, A. Vasiliev, *Automated air traffic control systems: new information technologies in aviation*, SPb.: Polytechnic, 2004, 446 p.
- [12]. Ph. Yanovsky, *Airborne radar systems: a textbook.*, K.: NAU, 2012, 688 p.
- [13]. The system for displaying air conditions and preventing collisions of aircraft in the air TCAS, ACAS II, Pilot's Manual, p. 90.
- [14]. "Reservation of air transportation in the system AMADEUS". [Electronic resource]. Access mode: [http://www.amadeus.com/cis/documents/aco/cis/Amadeus\\_Basic\\_Course\\_2011\(A5\).pdf](http://www.amadeus.com/cis/documents/aco/cis/Amadeus_Basic_Course_2011(A5).pdf). [Date of access: May 2017].
- [15]. "Austrian Serbian Tourism Programmes Lesson 7 Amadeus AIR". [Electronic resource]. Access mode: <https://www.slideshare.net/AngelinaNjegus/lesson-7-amadeus-air>. [Date of access: May 2017].
- [16]. L. Aleksandrovskaya, I. Aronov, V. Kruglov, *Safety and reliability of technical systems*, M. : University Book, Logos, 2008, 376 p.
- [17]. *Analysis of species, consequences of criticality of failures: method. mater.* М. : SIC CALS-technologie «Applied logistics», 2005-2011, 21 p.
- [18]. GOST 27.310-95. Reliability in technology. Analysis of species, consequences and criticality of failures. The basic positions, Minsk: IPK Publishing house of standards, 1996, 23 p.
- [19]. NDR "Infrastructure", № 0114U000038d.
- [20]. T. Yeliseyeva "Analysis of the safety of electric locking valves by the method of AVPKO", *Izvestiya TulGU. Technical sciences*, pp. 182-186, 2013.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ  
ВАЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ В ОБЛАСТИ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

В последнее время в мире наблюдается тенденция к увеличению количества чрезвычайных событий различного рода. Ежедневно мировые СМИ сообщают о природных и техногенных катастрофах, вооруженных конфликтах, террористических актах, тяжких преступлениях, актах пиратства, совершенных как преступными организациями, так и отдельными лицами. Все чаще в результате таких событий жертвами становятся большое количество людей и наносится вред жизненно важным для существования государств системам, объектам и ресурсам. Учитывая это, большинство ведущих стран мира стали уделять внимание методам и средствам идентификации, систематизации и обеспечения безопасности объектов критической инфраструктуры, потеря или нарушение нормального функционирования которых приведет к значительным или даже непоправимым негативным последствиям для национальной безопасности государства. Для применения адекватных методов защиты важным является предварительное определение уровня важности (критичности) объектов информационной инфраструктуры государства в определенной области. Учитывая указанное был разработан метод определения уровня важности объектов критической информационной инфраструктуры государства в области гражданской авиации, который позволяет проводить ранжирование и оценку уровня важности критических авиационных информационных систем как по количественным, так и по качественным параметрам. Продолжением исследования стала разработка методики проведения эксперимента, с помощью которой проверено адекватность реагирования метода на смену входных данных, что подтвердило возможность определения уровня важности критических авиационных информационных систем различных категорий: информационных систем аэронавигационного обслуживания, бортовых информационных систем воздушных судов и информационных систем авиакомпаний и аэропортов.

**Ключевые слова:** критическая инфраструктура, определение уровня критичности, критическая информационная инфраструктура, критические авиационные информационные системы, гражданская авиация.

**EXPERIMENTAL STUDY OF METHOD OF  
DETERMINATION THE LEVEL OF CRITICAL  
INFORMATION INFRASTRUCTURE  
IMPORTANCE IN THE CIVIL AVIATION**

In recent times all over the world the number of different emergency situations was increased. Every day mass media informs about natural and man-caused disasters, weapon conflicts, acts of terrorism, global crimes, acts of piracy

that were committed by both crime organizations and single offenders. Increasingly frequently as a result of these events many people falls a victim and also state critical importance systems and resources can be damaged. By this means most of world leader states have attended to methods and means of identifying, systematization and security assurance for critical infrastructure objects. Loss or operational breakdown of these objects can cause significant or irreparably damage for national security of the state. For adequacy security methods implementation it's very important to determine the importance (criticality) level of state information infrastructure objects in some sector. In view of this the method of determination the level of the critical information infrastructure importance in the civil aviation was proposed and it gives a possibility to assess the importance level and rank critical aviation information systems both by both quantitative and qualitative parameters. Follow-up study contains proposed experimental technique and with help of this method adequacy was checked. It confirms ability to determine the importance level of different critical aviation information systems: information systems of air navigation service, aircraft board information systems, information systems of air companies and airports.

**Keywords:** critical infrastructure, level of criticality determining, critical information infrastructure, critical aviation information systems, civil aviation.

**Сидоренко Вікторія Миколаївна**, асистент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

E-mail: v.sydoenko@ukr.net

**Сидоренко Виктория Николаевна**, асистент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

**Sydorenko Viktoriia**, Assistant Teacher of IT-Security Academic Department, National Aviation University.

**Гнатюк Сергій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

E-mail: s.gnatyuk@nau.edu.ua

**Гнатюк Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

**Gnatyuk Sergiy**, PhD in Eng, Associate Professor of IT-Security Academic Department, National Aviation University.

**Юдін Олексій Юрійович**, начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації.

E-mail: alex@ukrdeftech.com.ua

**Юдин Алексей Юрьевич**, начальник центра Государственного научно-исследовательского института специальной связи и защиты информации.

**Yudin Oleksiy**, Chief of Department of Statement Research Institute for Special Telecommunication and Information Security.