

# КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ / CYBERSECURITY & CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE PROTECTION

DOI: [10.18372/2225-5036.23.11565](https://doi.org/10.18372/2225-5036.23.11565)

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВАЖЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ГАЛУЗІ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

Леонід Щербак, Сергій Гнатюк,  
Вікторія Сидоренко, Олександра Шаховал

Національний авіаційний університет, Україна



**ЩЕРБАК Леонід Миколайович**, д.т.н.

*Рік і місце народження:* 1938 рік, м. Київ, Україна.

*Освіта:* Харківський авіаційний інститут, 1961 рік.

*Посада:* професор кафедри інформаційно-вимірювальних систем.

*Наукові інтереси:* теорія вимірювань, статистична теорія сигналів та систем, цифрова обробка сигналів, комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи, захист інформації.

*Публікації:* понад 250 наукових публікацій, серед яких монографії, статті у провідних вітчизняних та закордонних наукових виданнях, патенти та авторські свідоцтва.

*E-mail:* [prof\\_Scherbak@ukr.net](mailto:prof_Scherbak@ukr.net)



**ГНАТЮК Сергій Олександрович**, к.т.н.

*Рік і місце народження:* 1985 рік, м. Нетішин, Хмельницька обл., Україна.

*Освіта:* Національний авіаційний університет, 2007 рік.

*Посада:* доцент кафедри безпеки інформаційних технологій з 2012 року.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, квантова криптографія, управління інцидентами інформаційної безпеки, захист критичної інформаційної інфраструктури держави.

*Публікації:* більше 200 наукових публікацій, серед яких монографії, статті у провідних вітчизняних та закордонних наукових виданнях, патенти та авторські свідоцтва.

*E-mail:* [s.gnatyuk@nau.edu.ua](mailto:s.gnatyuk@nau.edu.ua)



**СИДОРЕНКО Вікторія Миколаївна**

*Рік і місце народження:* 1990 рік, м. Попасна, Луганська обл., Україна.

*Освіта:* Національний авіаційний університет, 2012 рік.

*Посада:* асистент кафедри безпеки інформаційних технологій.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, захист критичної інформаційної інфраструктури держави.

*Публікації:* 18 наукових публікацій, серед яких наукові статті, тези та матеріали доповідей на конференціях.

*E-mail:* [v.sydorenko@ukr.net](mailto:v.sydorenko@ukr.net)



**ШАХОВАЛ Олександра Анатоліївна**

*Рік і місце народження:* 1998 рік, м. Красилів, Хмельницька обл., Україна.

*Посада:* студентка кафедри безпеки інформаційних технологій.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, захист критичної інформаційної інфраструктури держави.

*Публікації:* 1 наукова стаття у фаховому журналі, матеріали та тези доповідей на конференціях.

*E-mail:* [shakhoval.al@gmail.com](mailto:shakhoval.al@gmail.com)

**Анотація.** 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, розрахунку їх рівня критичності та оцінці наслідків можливих переривань роботи. Проте, як показав проведений аналіз, на сьогодні не має універсального методу, який міг би використовуватись для визначення рівня критичності інфраструктури, зокрема у галузі цивільної авіації. У роботі запропоновано формалізований метод визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави в галузі цивільної авіації, 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 і розрахунку додаткових вагових коефіцієнтів критичності, дає можливість проводити оцінювання рівня важливості і ранжувати критичні авіаційні інформаційні системи як за кількісними, так і за якісними параметрами. У подальшому планується розробити на базі цього методу спеціальне програмне забезпечення, яке дозволить провести експериментальне дослідження для верифікації можливості визначення рівня важливості критичних авіаційних інформаційних систем різних категорій.

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

## Вступ

Сучасні тенденції розвитку інформаційних та комунікаційних технологій спричинили феноменальну залежність суспільства від послуг, які надають різноманітні галузі інфраструктури. Нині якість та доступність таких послуг є одним з головних показників розвитку інфраструктури держави, а забезпечення їх захисту та стабільного функціонування є найважливішою і обов'язковою складовою національної безпеки розвинених держав. Збільшення концентрації засобів та ресурсів для захисту електронних інфраструктур різних типів зумовило необхідність ранжування інфраструктурних об'єктів, виділення найважливіших з них та появи поняття критична інфраструктура (КИ). Зазвичай, до цієї категорії відносять енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- та газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення мегаполісів, високотехнологічні підприємства та підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади. Особливої уваги потребує галузь цивільної авіації, так як існує необхідність у забезпеченні безперервної комунікації та взаємодії між наземними системами і повітряними суднами, крім того, від цього залежать людські життя. Тому, першочерговим аспектом стає визначення об'єктів, які є критичними, оцінювання рівня їх важливості для забезпечення постійного функціонування, запобігання виникненню переривань роботи та збоїв в автоматизованих системах, що забезпечують їх роботу.

## Аналіз існуючих досліджень і постановка завдання

Для забезпечення захисту найбільш важливих об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (КИ) необхідно, перш за все, ідентифікувати ці об'єкти за певними критеріями чи критичними параметрами. Щоб знайти і сформулювати універсальний, чітко формалізований підхід, що буде мати застосування в різних галузях, у [1] проведено багатокритеріальний аналіз підходів до виявлення та

ідентифікації критично важливих об'єктів інформаційної інфраструктури, зокрема проаналізовано: теорію К. Клаузевіца для мережевих архітектур, теорію графів, теорію самоорганізуючих мереж А. Барабаші, модель пріоритетності активів та імітаційне моделювання – визначено, що вони є недостатньо формалізованими та не враховують повну множину параметрів, які є важливими для ідентифікації об'єктів КИ та рівня їх важливості.

Згідно [2], існує дві основні методології визначення активів та послуг КИ – некритичний підхід, який не залежить від критичних сервісів і обмежується розглядом лише мережевої інфраструктури та підхід, який визначає критичні сервіси, і на їх основі визначає активи, що їм належать. Некритичний підхід «аналіз мережевої архітектури» включає аналіз мережі, шаблонів навантаження трафіку, шаблонів відмов, ідентифікацію компонентів, які мають критичне значення для функціонування всієї мережі, проте останнім часом жодна з розвинених держав не використовує некритичний підхід для визначення КИ, лише використовуючи його в приватному секторі для картографування мереж. Критичний підхід, що залежить від сервісів, реалізується у три етапи: ідентифікація критичних секторів, виділення критично важливих сервісів в середині сектору, а також ідентифікація та класифікація активів і сервісів КИ, які підтримують функціонування критичних сервісів. Цей підхід є більш розповсюджений, адже на виході отримується список всіх активів/об'єктів, проте так як і в підходах, що базуються на теорії графів та імітаційному моделюванні, лише ідентифікують об'єкти КИ, після чого необхідно визначити рівень критичності ідентифікованих об'єктів.

Для цього був проведений аналіз існуючих методів та математичних моделей оцінювання рівня потенційної небезпеки об'єктів захисту. Встановлено, що поняття рівня потенційної небезпеки близьке до поняття критичності і може бути використано для визначення рівня критичності та для розробки пріоритетних заходів забезпечення безпеки. У [3] наведено аналіз таких підходів та методик: 1) «Мозковий штурм»; 2) Структуровані або напівструктуровані

опитування; 3) Метод Делфі; 4) Контрольні листи; 5) Попередній аналіз небезпек; 6) Дослідження небезпеки та працездатності (HAZOP); 7) Аналіз небезпек та критичні контрольні точки (НАССР); 8) Оцінка екологічного ризику (оцінка токсичності); 9) Структурована методика «Що, якщо?» (SWIFT); 10) Аналіз сценаріїв; 11) Аналіз впливу на діяльність; 12) Аналіз початкової причини; 13) Аналіз характеру та наслідків; 14) Аналіз «дерева» несправностей; 15) Аналіз «дерева» подій; 16) Аналіз причини та наслідку; 17) Причинно-наслідковий аналіз; 18) Аналіз рівнів захисту (LOPA); 19) Аналіз «дерева» рішень; 20) Аналіз надійності оператору; 21) Аналіз схеми «краватка-метелик»; 22) Технічне обслуговування, направлене на забезпечення надійності; 23) Аналіз паразитності; 24) Аналіз Маркова; 25) Імітаційне моделювання методом Монте-Карло; 26) Байесова статистика та мережі Байеса; 27) Криві FN; 28) Показники ризику; 29) Матриця наслідків і ймовірності; 30) Аналіз витрат та користі; 31) Багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA).

Після цього у [4] було виділено низку методів оцінки критичності інформаційних систем, до яких, з урахуванням [3-7], віднесено такі: 1) Аналіз причин і наслідків (CETA); 2) Попередній аналіз небезпек (PNA); 3) Аналіз небезпеки і працездатності (HAZOP); 4) Аналіз небезпеки та критичних контрольних точок (НАССР); 5) Аналіз впливу на бізнес (BIA); 6) Аналіз видів, наслідків критичності відмов (FMECA); 7) Аналіз дерева несправностей (FTA); 8) Аналіз дерева подій (ETA); 9) Метод CORAS; 10) Метод OCTAVE. У табл. 1 наведено результати аналізу методів розрахунку критичності інформаційних систем за базовими критеріями, а саме: виявлення переривання роботи/небезпеки – *DetDi*; аналіз шляхів виявлення причин виникнення переривань в роботі – *AWCDi*; прогнозування наслідків – *PEi*; визначення критичності кожного виду переривання в роботі/небезпеки – *DRi*; мінімізація/усунення наслідків переривання в роботі – *M/EEi*; оцінка впливу на роботу – *IA*; оцінка ризиків – *RA*.

Аналіз методів розрахунку критичності інформаційних систем Таблиця 1

Назва методу	Базові критерії						
	Det Di	AW CDi	PEi	DRi	M/EEi	IA	RA
CETA	-	+	-	+	-	-	-
PNA	+	+	-	-	-	-	-
CORAS	-	+	+	-	-	-	+
HAZOP	+	-	+	+	-	-	-
ETA	+	-	+	-	-	-	-
FTA	+	+	-	-	+	-	-
OCTAVE	+	-	-	-	-	+	+
НАССР	+	+	-	-	-	+	-
FMECA	+	+	+	+	-	+	+
BIA	-	-	+	-	-	+	-

Як видно з результатів аналізу (табл. 1), для розрахунку критичності є досить широкий набір прийнятних методів. Вибір методів розрахунку критичності залежить від конкретних обставин: масштабу і складу інформаційної системи, інформації, що обробляється в цій системі, складу і використовуваних засобів безпеки, наявності кваліфікованих експертів

тощо. Визначено, що методи CORAS, HAZOP, FTA, OCTAVE, НАССР відповідають трьом базовим критеріям (у табл. 1 позначено світло-сірим кольором), а метод FMECA є найбільш універсальним, так як відповідає шести базовим критеріям (у табл. 1 позначено темно-сірим кольором). У методі FMECA кожен вид відмови ранжується з урахуванням двох складових критичності – ймовірності та тяжкості наслідків відмови. Результати аналізу формуються у вигляді таблиць з переліком обладнання, видом і причинами можливих відмов, частотою, наслідками, критичністю, засобами виявлення несправності і рекомендаціями щодо зменшення небезпеки [3, 8, 9]. У результаті використання цього методу рекомендуються показники (індекси) рівня і критерії критичності за ймовірністю і тяжкістю наслідків відмови (події). З огляду на недостатню формалізацію та не врахування повної множини параметрів, які є важливими для ідентифікації об'єктів КІ та рівня їх важливості, існує необхідність у створенні універсального методу оцінювання важливості об'єктів КІ держави [10]. Отже, метою роботи є розробка формалізованого методу визначення рівня важливості об'єктів КІ держави в галузі цивільної авіації.

#### Основна частина дослідження

Запропонований метод визначення рівня важливості об'єктів КІ 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.

Визначимо *вхідні дані* методу: структурно-функціональні схеми аналізованої системи і її компонентів або етапи процесу; інформація про функціонування кожного етапу 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.

Реалізуювши всі зазначені етапи методу, отримаємо такі *вихідні дані*: перелік видів переривань роботи для кожного компонента системи; інформація про причини виникнення та наслідки переривання роботи для кожного компонента системи; матриця критичності, яка за зібраними попередніми даними графічно відображає критичність компонентів системи; діаграма Парето, яка візуально зображує рівень критичності в середині системи та дає можливість порівняти декілька різних систем; результати ранжування – перелік найбільш значущих (критичних) переривань роботи; причинно-наслідкова діаграма Ісікави, що дозволяє виділити пріоритетні напрямки розробки

коригувальних заходів для переривань роботи; список коригувальних заходів для зменшення критичності найбільш значущих переривань роботи.

Умови функціонування цивільної авіації швидко і суттєво змінюються із впровадженням сучасних технологій обробки, передачі та збереження інформації, що забезпечують підвищення рівня захисту і спрощення формальностей [11]. Найбільшого захисту потребують ресурси критичних авіаційних інформаційних систем (КАІС) [12]. У роботі [13] проведено пошук та систематизацію сучасних КАІС, які умовно поділені на три основних категорії: інформаційні системи аеронавігаційного обслуговування; бортові інформаційні системи повітряних суден; інформаційні системи авіакомпаній та аеропортів. Відповідно до зазначених категорій, авторами було створено перелік основних систем, проаналізовано їх властивості та базові ознаки. Розглянемо детально кожен з етапів реалізації запропонованого методу, а для оцінювання критичності КАІС оберемо з кожної із категорій одну систему/підсистему.

**Етап 1 - Визначення компонентів системи та встановлення рівня деталізації.** На основі структурно-функціональних схем аналізованої системи складається перелік усіх компонентів системи у процесі функціонування. Встановлюється мінімальний рівень деталізації для їх опису та декомпозиції. Цей етап реалізується у 5 кроків:

**Крок 1.** Введемо повну множину КАІС  $S$ :

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (1)$$

де  $S_i \subseteq S$ ,  $(i = \overline{1, n})$  - клас систем КАІС,  $n$  - загальна кількість класів систем.

Наприклад, для КАІС згідно [13], при  $n = 3$  з урахуванням (1) визначимо повну множину класів систем КАІС таким чином:

$$S_{\text{KAIS}} = \left\{ \bigcup_{i=1}^3 S_i \right\} = \{S_1, S_2, S_3\} =$$

$$= \{S_{\text{ISAO}}, S_{\text{BSPS}}, S_{\text{ISAA}}\} = \{\text{ISAO}, \text{BSPS}, \text{ISAA}\},$$

де  $S_1 = S_{\text{ISAO}} = \text{ISAO}$  - множина інформаційних систем аеронавігаційного обслуговування;  $S_2 = S_{\text{BSPS}} = \text{BSPS}$  - множина бортових інформаційних систем повіт-

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij} \right\} \right\} = \left\{ \left\{ S_{111}, S_{112}, \dots, S_{11n_1} \right\}, \left\{ S_{211}, S_{212}, \dots, S_{21r_2} \right\}, \dots, \left\{ S_{m_11}, S_{m_12}, \dots, S_{m_1r_{m_1}} \right\} \right\}, \quad (5)$$

$$\left\{ \left\{ S_{211}, S_{212}, \dots, S_{21r_1} \right\}, \left\{ S_{221}, S_{222}, \dots, S_{22r_2} \right\}, \dots, \left\{ S_{2m_21}, S_{2m_22}, \dots, S_{2m_2r_{m_2}} \right\} \right\}, \dots, \left\{ \left\{ S_{n11}, S_{n12}, \dots, S_{n1r_{n_1}} \right\}, \left\{ S_{n21}, S_{n22}, \dots, S_{n2r_{n_2}} \right\}, \dots, \left\{ S_{nm_11}, S_{nm_12}, \dots, S_{nm_1r_{nm_1}} \right\} \right\}.$$

Наприклад, при  $n = 2$ ,  $m_2 = 4$ ,  $r_{2,4} = 4$ , з використанням (4), представимо множину підсистем  $S_{2,4}$  таким чином:

$$S_{2,4} = S_{\text{SSPZ}} = \text{SSPZ} = \left\{ \bigcup_{k=1}^4 S_{2,4,k} \right\} = \{S_{2,4,1}, S_{2,4,2}, S_{2,4,3}, S_{2,4,4}\} =$$

$$= \{S_{\text{TRA}}, S_{\text{TCAS}}, S_{\text{SRPZ}}, S_{\text{BMR}}\} = \{\text{TRA}, \text{TCAS}, \text{SRPZ}, \text{BMR}\},$$

де  $S_{2,4,1} = S_{\text{TRA}} = \text{TRA}$  - транспондери;  $S_{2,4,2} = S_{\text{TCAS}} = \text{TCAS}$  - бортові системи попередження зіткнень (TCAS);  $S_{2,4,3} = S_{\text{SRPZ}} = \text{SRPZ}$  - системи раннього попередження небезпечних зближень із землею;  $S_{2,4,4} = S_{\text{BMR}} = \text{BMR}$  - бортові метеонавігаційні радіолокатори згідно [13].

ряних суден;  $S_3 = S_{\text{ISAA}} = \text{ISAA}$  - множина інформаційних систем авіакомпаній та аеропортів згідно [13].

**Крок 2.** Множина  $S_i$  може бути представлена у вигляді множини систем:

$$S_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij} \right\} = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im_i}\}, \quad (2)$$

де  $S_{ij} \subseteq S_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ) - системи  $i$ -го класу,  $m_i$  - кількість систем  $i$ -го класу.

З урахуванням (2), вираз (1) можна представити у такому вигляді:

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} S_{ij} \right\} \right\} = \{ \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m_1}\}, \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2m_2}\}, \dots, \{S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nm_n}\} \}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}). \quad (3)$$

$$\{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2m_2}\}, \dots, \{S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nm_n}\} \}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}).$$

Наприклад, при  $n = 2$ ,  $m_2 = 7$  з використанням (2), представимо множину систем класу  $S_2$  таким чином:

$$S_2 = S_{\text{BSPS}} = \text{BSPS} = \left\{ \bigcup_{j=1}^7 S_{2j} \right\} = \{S_{2,1}, S_{2,2}, S_{2,3}, S_{2,4}, S_{2,5}, S_{2,6}, S_{2,7}\} =$$

$$= \{S_{\text{SPS}}, S_{\text{SZV}}, S_{\text{NAVS}}, S_{\text{SSPZ}}, S_{\text{OSL}}, S_{\text{SVI}}, S_{\text{ABSK}}\} =$$

$$= \{\text{SPS}, \text{SZV}, \text{NAVS}, \text{SSPZ}, \text{OSL}, \text{SVI}, \text{ABSK}\},$$

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;  $S_{2,4} = S_{\text{SSPZ}} = \text{SSPZ}$  - системи спостереження та попередження зіткнень;  $S_{2,5} = S_{\text{OSL}} = \text{OSL}$  - обчислювальні системи літаководіння;  $S_{2,6} = S_{\text{SVI}} = \text{SVI}$  - системи відображення інформації;  $S_{2,7} = S_{\text{ABSK}} = \text{ABSK}$  - автоматичні бортові системи керування відповідно до [13].

**Крок 3.** Множина  $S_{ij}$  може бути представлена у вигляді множини підсистем:

$$S_{ij} = \left\{ \bigcup_{k=1}^{r_{ij}} S_{ijk} \right\} = \{S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr_{ij}}\}, \quad (4)$$

де  $S_{ijk} \subseteq S_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ,  $k = \overline{1, r_{ij}}$ ) - множина підсистем системи  $S_{ij}$ ,  $r_{ij}$  - кількість підсистем  $ij$ -го класу.

З урахуванням (4), вираз (3) можна представити у такому вигляді:

**Крок 4.** Введемо множину компонентів  $C$ , що характеризуватиме  $S_{ij} / S_{ijk}$ :

$$C = \left\{ \bigcup_{i=1}^b C_i \right\} = \{C_1, C_2, \dots, C_b\}, \quad (6)$$

де  $C_i \subseteq C$ ,  $(i = \overline{1, b})$  - компоненти,  $b$  - загальна кількість компонентів  $ij$ -ї системи.

Наприклад, для системи  $S_{2,4,2}$ , при  $b = 5$ , з використанням (6), представимо множину компонентів таким чином:

$$C_{\text{TCAS}} = \left\{ \bigcup_{i=1}^5 C_i \right\} = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\} = \{C_{\text{ANT}}, C_{\text{BLO}}, C_{\text{VRS}}, C_{\text{IND}}, C_{\text{PYL}}\},$$

де  $C_1 = C_{\text{ANT}}$  - антени;  $C_2 = C_{\text{BLO}}$  - блок обчислювача;

$C_3 = C_{VRS}$  - відповідач режиму S;  $C_4 = C_{IND}$  - індикатори (встановлені в кабіні екіпажу);  $C_5 = C_{PYL}$  - пульт управління відповідно до [14-15].

**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 (у концепції управління безперервністю бізнесу BCP/DRP за ISO 22301), 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, де  $Det_{min} = C_{ij}$ , де  $C_{ij}$  - складові компонентів  $C_i$  і т. д.

$$\mathbf{F}_{TCAS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{14} F_i \right\} = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}\} = \\ = \{F_{PPR}, F_{ZIL}, F_{OMRL}, F_{VTL}, F_{PPRD}, F_{PMPP}, F_{VNZ}, F_{ODSS}, F_{VPZ}, F_{PDBV}, F_{VVI}, F_{YRT}, F_{YKV}, F_{PRS}\},$$

де  $F_1 = F_{PPR}$  - функція приймання та передавання радіохвиль;  $F_2 = F_{ZIL}$  - функція запиту відповідачів інших літаків;  $F_3 = F_{OMRL}$  - функція обчислення місця розташування літаків;  $F_4 = F_{VTL}$  - функція відстеження траєкторії літаків;  $F_5 = F_{PPRD}$  - функція передавання попередження і рекомендації на дисплеї VSI / TRA або інші індикатори;  $F_6 = F_{PMPP}$  - функція передавання мовних повідомлень пілотові через розташовану в кабіні літака систему звукового оповіщення;  $F_7 = F_{VNZ}$  - функція відповідь на запити, 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;  $F_8 = F_{ODSS}$  - функція обміну даними з сумісними системами;  $F_9 = F_{VPZ}$  - функція встановлення прямого зв'язку за допомогою присвоєної унікальної адреси;  $F_{10} = F_{PDBV}$  - функція передавання даних від датчика барометричної висоти та з пульта управління в обчислювальний блок системи TCAS;  $F_{11} = F_{VVI}$  - функція виведення інформації про показник вертикальної швидкості (VSI) з дисплеєм попереджень про повітряну обстановку та рекомендацій щодо усунення конфліктної ситуації (TRA);  $F_{12} = F_{YRT}$  - функція установки режиму роботи TCAS і відповідача режиму-S;  $F_{13} = F_{YKV}$  - функція установки кодів відповіді на запити радіолокатора служби УПР;  $F_{14} = F_{PRS}$  - функція перевірки роботи системи [14].

**Етап 3 - Визначення переліку можливих переривань роботи кожного компонента системи.** Для кожного ідентифікованого компонента  $C_i$  на основі наявних класифікаторів переривання роботи ( $i$ -го класу КАІС), апріорних даних, інженерного аналізу, досвіду і знань експертів формується перелік можливих переривань роботи. Для визначення переліку

Для прикладу, обрана система обмежена рівнем  $S_{KAIS} / S_{BSPS} / S_{TCAS} / C_{TCAS}$  і стосується лише наслідків можливих переривань роботи визначених компонентів  $C_i$ .

**Етап 2 - Визначення функцій кожного виявленого компонента системи.** На основі структурно-функціональних схем КАІС обраного рівня деталізації визначимо функції  $F_i$ , які виконує кожен з перелічених компонентів  $C_i$ . Представимо повну множину функцій  $\mathbf{F}$  у такому вигляді:

$$\mathbf{F} = \left\{ \bigcup_{i=1}^l F_i \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_l\}, \quad (7)$$

де  $F_i \subseteq \mathbf{F}$ , ( $i = \overline{1, l}$ ) - функції компонентів КАІС,  $l$  - загальна кількість функцій.

Наприклад, для підсистеми  $S_{TCAS}$ , що містить множину компонентів  $C_{TCAS}$ , при  $l = 14$ , з використанням (7), представимо множину функцій таким чином:

можливих переривань роботи кожного компонента  $C_i$  введемо множину переривань роботи  $\mathbf{D}$  у наступному вигляді:

$$\mathbf{D} = \left\{ \bigcup_{i=1}^p D_i \right\} = \{D_1, D_2, \dots, D_p\}, \quad (8)$$

де  $D_i \subseteq \mathbf{D}$ , ( $i = \overline{1, p}$ ) - переривання роботи компонента  $C_i$ ,  $p$  - загальна кількість переривань роботи. Наприклад, для підсистеми  $S_{TCAS}$  множини компонентів  $C_{TCAS}$  при  $p = 9$ , з використанням (8), представимо множину переривань роботи таким чином:

$$\mathbf{D}_{TCAS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 D_i \right\} = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9\} = \\ = \{D_{VNA}, D_{VOBS}, D_{TCF}, D_{XPF}, D_{TCO}, D_{VSF}, D_{TDF}, D_{RAF}, D_{NPY}\},$$

де  $D_1 = D_{VNA}$  - відмова направленої антени;  $D_2 = D_{VOBS}$  - відмова обчислювального блоку системи;  $D_3 = D_{TCF}$  - «TCAS FAIL», відмова обладнання, мінімально необхідного для роботи системи TCAS;  $D_4 = D_{XPF}$  - «XPNDR FAIL» відмова відповідача режиму-S, виникає в разі припинення надходження на відповідач режиму-S достовірних даних про висоту від барометричного висотоміра;  $D_5 = D_{TCO}$  - «TCAS OFF» (система TCAS відключена, або відбуваються неполадки всередині системи);  $D_6 = D_{VSF}$  - «VSI FAIL» відмова показника вертикальної швидкості, коли стрілка вертикальної швидкості на дисплеї VSI не відображається;  $D_7 = D_{TDF}$  - «TD FAIL» відмова індикатора повітряної обстановки, з'являється в разі, коли система TCAS-2000 не в змозі відображати попередження про повітряну обстановку;  $D_8 = D_{RAF}$  - «RA FAIL» відмова видачі повідомлень RA, з'являється коли система TCAS не в змозі відображати рекомендації щодо усунення конфліктної ситуації;  $D_9 = D_{NPY}$  -

несправність, або вихід із ладу пульта управління згідно [14-15].

**Етап 4 - Визначення наслідків кожного можливого переривання роботи.** Для кожного виду  $D_i$  обраного компонента  $C_i$  визначаються його можливі наслідки на даному та наступних (сусідніх/вищих) рівнях. Якщо наслідки  $D_i$  компонентів нижчого рівня не можуть бути виражені у вигляді впливу на функціонування компонентів розглянутого рівня, то такі компоненти розглядаються як самостійні види переривань на цьому рівні.

Наслідки  $D_i$  компонентів за впливом на системи/класу КАІС вищих рівнів деталізації класифікуються на:

- локальні, які викликають переривання роботи лише  $C_i$ ;
- проміжні, пов'язані з перериванням роботи компонентів рівня  $S_{ij}$ ;
- кінцеві, що призводять до переривання роботи класу КАІС  $S_i$ .

Для визначення наслідків кожного можливого  $D_i$  введемо множину наслідків  $E$ :

$$E = \left\{ \bigcup_{i=1}^q E_i \right\} = \{E_1, E_2, \dots, E_q\}, \quad (9)$$

де  $E_i \subseteq E$ ,  $(i = \overline{1, q})$  - наслідки  $D_i$ ,  $q$  - загальна кількість наслідків  $D_i$ .

Наприклад, для кожного можливого переривання роботи множини  $D_{TCAS}$  при  $q = 3$ , з використанням (9), представимо множину наслідків переривань таким чином:

$$E_{TCAS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^3 E_i \right\} = \{E_1, E_2, E_3\} = \{E_{NVVP}, E_{NVP}, E_{NVPR}\},$$

де  $E_1 = E_{NVVP}$  - наслідок, під час якого система TCAS 2000 може бути тимчасово не спроможна визначити відносний пеленг конфліктуєчого літака через великий кут крену, що призводить до затінення направленої антени;  $E_2 = E_{NVP}$  - наслідок, під час якого неможливе відображення рекомендацій щодо усунення конфліктної ситуації;  $E_3 = E_{NVPR}$  - наслідок, під час якого неможливе використання пульта управління.

**Етап 5 - Ідентифікація ознак виявлення переривання роботи.** Для кожного виду  $D_i$  обраного компонента  $C_i$  визначимо ознаки виявлення  $D_i$ . Введемо множину ознак  $O$ :

$$O = \left\{ \bigcup_{i=1}^r O_i \right\} = \{O_1, O_2, \dots, O_r\}, \quad (10)$$

де  $O_i \subseteq O$ ,  $(i = \overline{1, r})$  - ознаки виявлення  $D_i$ ,  $r$  - загальна кількість ознак виявлення  $D_i$ .

Для кожної виявленої ознаки  $O_i$  кожного можливого переривання роботи  $D_i$  введемо функцію еквівалентності (11), яка приймає значення «1» при виявленні ознаки  $D_i$  та «0» при не виявленні відповідної ознаки  $D_i$ :

$$E(O_i, D_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } O_i = D_i; \\ 0, & \text{при } O_i \neq D_i. \end{cases} \quad (11)$$

Наприклад, для можливих переривань роботи  $D_{TCAS}$   $r = 1$ , з використанням (10), представимо множину ознак виявлення переривань роботи таким чином:

$$O_{TCAS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^1 O_i \right\} = \{O_1\} = \{O_{VSI}\},$$

де  $O_{VSI}$  - дисплей VSI/TRA [14-15].

Враховуючи (11),  $E(O_{VSI}, D_i) = 1$ .

**Етап 6 - Ідентифікація способів виявлення переривань роботи.** Для визначення способів виявлення кожного можливого  $D_i$  введемо множину способів виявлення  $W$ :

$$W = \left\{ \bigcup_{i=1}^s W_i \right\} = \{W_1, W_2, \dots, W_s\}, \quad (12)$$

де  $W_i \subseteq W$ ,  $(i = \overline{1, s})$  - способи виявлення  $D_i$ ,  $s$  - загальна кількість способів виявлення  $D_i$ .

Наприклад, для кожного можливого переривання роботи множини  $D_{TCAS}$  при  $s = 1$ , з використанням (12), представимо множину способів виявлення переривань таким чином:

$$W_{TCAS} = \left\{ \bigcup_{i=1}^1 W_i \right\} = \{W_1\} = \{W_{TCAS}\},$$

де  $W_{TCAS}$  - система TCAS.

**Етап 7 - Побудова тривимірної матриці критичності.** Для побудови матриці критичності необхідно для кожного виду  $D_i$  визначити якісний параметр, що характеризує рівень ймовірності виникнення (ймовірність). За ступенем тяжкості кінцевих наслідків  $D_i$  поділяють на чотири категорії: катастрофічне (I); істотне, що призводить до невиконання об'єктом своїх функцій (II); проміжне, що призводить до економічних втрат (III); незначне (IV). Після цього оцінювання необхідно доповнити частотним аналізом, при якому враховується ймовірність настання  $D_i$  (наприклад, частковий (A), ймовірний (B), рідкісний (C), дуже рідкісний (D), неможливий (E)) [16, 17]. Можливі значення ймовірності виникнення виду переривань роботи регламентовані в [18] (див. табл. 2).

Рівні ймовірності виникнення переривань роботи Таблиця 2

Рівень ймовірності виникнення $D_i$	Опис	Ймовірність виникнення $D_i$ за час роботи
A	Часткове	> 0,2
B	Ймовірне	0,1 ... 0,2
C	Можливе	0,01 ... 0,1
D	Рідкісне	0,001 ... 0,01
E	Малоймовірне	< 0,001

У табл. 3 представлена рекомендована у [16] класифікаційна матриця оцінки частоти і значущості переривань роботи за категоріями I-IV.

Оцінка значимості переривання роботи Таблиця 3

Очікувана частота $D_i$	Категорія $D_i$			
	I	II	III	IV
Частковий	A	A	C	C
Ймовірний	A	A	B	C
Рідкісний	A	B	B	D
Дуже рідкісний	A	B	B	D
Неймовірний	B	C	C	D

Причини переривань роботи, що потрапили в групу А, підлягають безумовному усуненню при проектуванні шляхом зміни конструкції, збільшення відповідних запасів, стійкості тощо, пом'якшення умов експлуатації та ін. Причини, що потрапили в групу В і С, вимагають подальшого аналізу, уточнення механізмів  $D_i$ , дослідження характеру деградаційних процесів та інших факторів, важливих для більш повного опису  $D_i$ , а групи D не вимагають додаткового аналізу [16]. Третій параметр – кількість  $D_i$ , згідно [5], з'являється під час заповнення табл. 3 при фіксованій категорії і частоті.

Наприклад, сформуємо таблицю критичності для підсистеми  $S_{TCAS}$  за такими параметрами «ймовірність – тяжкість – кількість переривань роботи підсистеми» та побудуємо тривимірну матрицю критичності (рис.1).

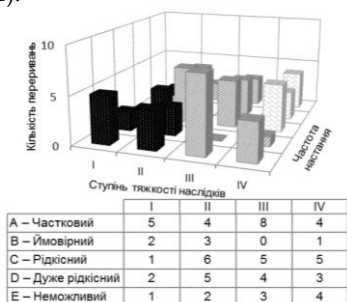


Рис. 1. Тривимірна матриця критичності для підсистеми  $S_{TCAS}$

**Етап 8 – Розрахунок рангу критичності ймовірних переривань.** Для визначення рангу критичності  $R_i$  для кожного з перерахованих видів переривань роботи  $D_i$  розраховується показник рангу критичності переривання. Для цього введемо множину значень рангу критичності  $\mathbf{R}$  у наступному вигляді:

$$\mathbf{R} = \left\{ \bigcup_{i=1}^w R_i \right\} = \{R_1, R_2, \dots, R_w\}, \quad (13)$$

де  $R_i \subseteq \mathbf{R}$ , ( $i = \overline{1, w}$ ) – ранги критичності  $D_i$ ,  $w$  – загальна кількість показників рангів критичності.

Ранг критичності  $D_i$  компонента  $C_i$  розраховується таким чином [3,8,9,16]:

$$R_i = B_{1i} B_{2i} B_{3i}. \quad (14)$$

**Крок 1.** Для визначення показника  $B_{1i}$  (оцінка частоти (ймовірності) настання потенційного  $D_i$  компонента  $C_i$ ) введемо відповідну множину:

$$\mathbf{V}_1 = \left\{ \bigcup_{i=1}^z B_{1j} \right\} = \{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1z}\}, \quad (15)$$

де  $B_{1j} \subseteq \mathbf{V}_1$ , ( $j = \overline{1, z}$ ), значення  $z$  знаходяться за відповідною таблицею, сформованою апіорі у залежності від типу КАІС. У табл. 4 наведені значення коефіцієнта  $B_1$  у загальному вигляді, де  $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1z}$  – значення  $j$ -х коефіцієнтів,  $\langle value \rangle$  – числове значення частоти  $D_i$ , а  $\langle frequency \rangle$  – лінгвістична змінна, що характеризує асоційовану інтенсивність  $D_i$ .

Апіорні значення коефіцієнта  $B_1$  Таблиця 4

Характеристика частоти $D_i$	Асоційована інтенсивність $D_i$	Значення $B_1$ бали
$\langle frequency \rangle$	$\langle value \rangle$	$B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1z}$

Наприклад, для виду переривання роботи  $D_{VNA}$  визначимо показник  $B_{1i}$  оцінка частоти за (15) значення  $z$  знаходимо відповідно до табл. 5 [16], отже визначимо, що  $B_1 = 2$ .

Значення коефіцієнта  $B_1$  Таблиця 5

Характеристика частоти $D_i$	Асоційована інтенсивність $D_i$	Значення $B_1$ бали
Дуже рідкісний	$< 2 \cdot 10^{-7}$	1
	$2 \cdot 10^{-7} \dots 8 \cdot 10^{-6}$	2
Рідкісний	$8 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-5}$	3
	$2 \cdot 10^{-5} \dots 8 \cdot 10^{-4}$	4
Можливий	$8 \cdot 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-4}$	5
	$2 \cdot 10^{-4} \dots 8 \cdot 10^{-3}$	6
Частковий	$8 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-3}$	7
	$2 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	8
Дуже частковий	$5 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-2}$	9
	$> 2 \cdot 10^{-2}$	10

**Крок 2.** Для визначення показника  $B_{2i}$  (оцінка ймовірності виявлення  $D_i$  компонента  $C_i$  до його проявлення) введемо відповідну множину:

$$\mathbf{V}_2 = \left\{ \bigcup_{j=1}^x B_{2j} \right\} = \{B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2x}\}, \quad (16)$$

де значення  $x$  знаходяться аналогічно за таблицею, сформованою апіорі в залежності від типу КАІС. У табл. 6 наведені значення коефіцієнта  $B_2$  у загальному вигляді, де  $B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2x}$  – значення  $j$ -х коефіцієнтів,  $\langle probability \rangle$  – лінгвістична змінна, що характеризує ймовірність виявлення  $D_i$ .

Апіорні значення коефіцієнта  $B_2$  Таблиця 6

Характеристика ймовірності виявлення $D_i$	Значення $B_2$ бали
$\langle probability \rangle$	$B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2x}$

Наприклад, для виду переривання роботи  $D_{VNA}$  визначимо показник  $B_{2i}$  (оцінка ймовірності виявлення  $D_i$  компонента  $C_i$  до його проявлення) за (16) значення  $x$  знаходимо аналогічно за табл. 7 [16], отже, визначимо, що  $B_2 = 4$ .

Значення коефіцієнта  $B_2$  Таблиця 7

Характеристика ймовірності виявлення $D_i$	Значення $B_2$ бали
Ймовірність виявлення дефекту перед надходженням до замовника	1
Ймовірність можливого виявлення дефекту при контролі під час виготовлення продукції чи монтажі	2
Ймовірність не виявити дефект перед тим, як продукція надійде замовнику	3
Ймовірність не виявити дефект при випробуванні, проте детектувати при монтажі	4
Ймовірність того, що продукція буде відправлена з дефектами	5
Ймовірність виявлення значної доли дефектів при монтажі чи контролі у замовника	6
Підвищена ймовірність не виявити дефект	7
Ймовірність того, що контроль не виявить дефект	8

Продовження таблиці 7

Ймовірність не виявити дефект	9
Ймовірність того, що дефект прихований і не буде виявлений	10

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

$$B_3 = \left\{ \bigcup_{j=1}^c B_{3j} \right\} = \{B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}\}, \quad (17)$$

де значення  $c$  знаходяться аналогічно до табл. 4 та табл. 6 (див. табл. 8, у якій <Consequence> – лінгвістична змінна, що характеризує наслідки переривань  $D_i$ ).

Априорні значення коефіцієнта  $B_3$  Таблиця 8

Наслідки переривання $D_i$	Значення $B_3$ , бали
<Consequence>	$B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}$

Наприклад, для виду переривання роботи  $D_{VNA}$  визначимо показник  $B_{3i}$  (оцінка тяжкості  $D_i$  компонента  $C_i$ ) за (17), де значення  $c$  знаходимо аналогічно до табл. 5 та табл. 7 (див. табл. 9) [16], отже, визначимо, що  $B_3 = 9$ .

Значення коефіцієнта  $B_3$  Таблиця 9

Наслідки переривання $D_i$	Значення $B_3$ , бали
Мінімальні. Висока ймовірність того, що замовник їх не помітить	1
Малі. Недоліки є помітними при випробуваннях, проводяться ремонтні роботи, які не потребують затрат	2
Незначні. Ремонт об'єкта може бути проведено у замовника з незначними затратами	3
Значні. Затрати на ремонт істотні та обумовлені простом об'єкта	4
Істотні. Простий об'єкта через несправність привів до матеріальних збитків	5
Середньої тяжкості. Переривання роботи та наявні дефекти знижують експлуатаційні характеристики	6
Тяжкі. Переривання роботи створює великі незручності використання об'єкта за призначенням та функціонування його складових	7
Максимальні. Переривання роботи викликає втрату функціональних складових об'єкта	8
Критичні. Переривання роботи викликає втрату об'єкта. Загроза для безпеки людей та навколишнього середовища відсутня	9
Катастрофічні. Переривання роботи пов'язане з безпекою людей та навколишнього середовища	10

**Крок 4.** Розрахунок рангу критичності  $R_i$  кожного з перерахованих видів переривань роботи  $D_i$  за допомогою (14). Наприклад, для виду переривання роботи  $D_{VNA}$  розрахуємо показник рангу критичності  $R_i = 2 \cdot 4 \cdot 9 = 72$  та отримані дані занесемо до звіту (етап 11). Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи підсистем  $S_{TCAS}$  розрахуємо показники рангу критичності переривань та отримані дані занесемо до звіту (етап 11, табл. 13).

**Етап 9 – Виділення переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи.** Виділення

найбільш значущих  $D_i$  здійснюється шляхом порівняння рангу критичності переривання  $R_i$  з деякими граничними значеннями  $R_0$  та  $R_k$ . Згідно (14) і табл. 5, табл. 7, табл. 9, критичність змінюється в діапазоні від  $R_{\min} = B_{11}B_{21}B_{31}$  до  $R_{\max} = B_{1c}B_{2c}B_{3c}$ . Зазвичай у якості граничного значення призначають  $R_k = \frac{1}{2}(B_{1c}B_{2c}B_{3c})$ , при чому  $R_{\min} < R_k < R_{\max}$ . До того ж, для прикладу, згідно [8-9],  $R_{\min} = 1$ ,  $R_{\max} = 10^3$ ,  $R_k = 125$ , а рекомендоване значення  $R_0 = 60$ . Введемо правила для визначення критичності  $D_i$   $criticality(D_i) \in \{High, Middle, Low\}$ :

$$criticality(D_i) = \begin{cases} High, \text{npu } R_i > R_k; \\ Middle, \text{npu } R_0 < R_i \leq R_k; \\ Low, \text{npu } R_i \leq R_0, \end{cases} \quad (18)$$

де, якщо  $R_i > R_k$ , то  $D_i$  визнається критичним (High), отже, його причини підлягають обов'язковому усуненню; якщо  $R_0 < R_i \leq R_k$ , то необхідні коригувальні заходи для зменшення критичності (Middle), наприклад, зміна регламенту технічного обслуговування та ремонту, які заносяться до відповідного переліку для подальшого аналізу і контролю; якщо  $R_i \leq R_0$ , то  $D_i$  є незначним і не вимагає розробки та імплементації додаткових заходів (Low).

Наприклад, для розрахованого рангу критичності переривань роботи  $R_i = 2 \cdot 4 \cdot 9 = 72$ , відповідно до правила (18), для переривання роботи  $D_{VNA}$  є необхідність розробки коригувальних заходів для зменшення критичності переривання роботи.

Крім того, на цьому етапі для виділення переліку найбільш значущих (критичних)  $D_i$  використовується стовпчаста діаграма Парето [16] (рис. 2), 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)), 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.

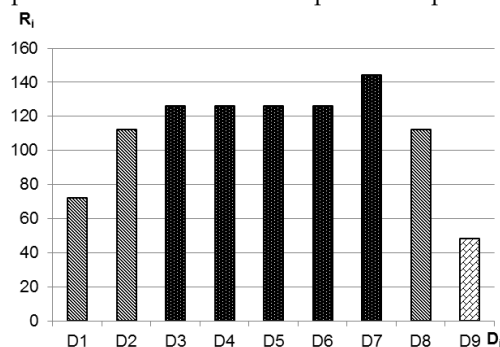


Рис. 2. Стовпчаста діаграма Парето для підсистеми STCAS

Діаграма Парето допомагає виділити перелік найбільш значущих (критичних)  $D_i$  підсистеми, а також дає можливість порівняти окремі підсистеми за обчи-



сленим  $R_i$  та виділити підсистему, що є більш критичною для КАІС взагалі.

Для підсистеми  $S_{TCAS}$  найбільш критичними визнаються переривання роботи  $D_3, D_4, D_5, D_6, D_7$ . Розрахунок рангу критичності, проведений за (14), дав наступний результат  $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 126 > R_k = 125$ ;  $R_7 = 150 > R_k = 125$ . Іншими словами, переривання роботи з  $D_3$  по  $D_7$  визнаються критичними.

Також слід зазначити, що при виділенні переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи за обчисленим рангом критичності [9] були визначені наступні недоліки розрахунку  $R_i$ :

- неоднозначність  $R_i$  (декілька комбінацій різних значень параметрів призводять до однакових значень  $R_i$ )  $R_3 = R_5 = 126$ , але  $R_3 = 3 \cdot 6 \cdot 7 = 126$ , а  $R_5 = 2 \cdot 7 \cdot 9 = 126$ ;

- чуттєвість 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  $V_3$ , адже саме цей коефіцієнт пов'язаний з тяжкістю наслідків переривання роботи та появи 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 цьому етапі розробленого методу, та як окремий модуль визначення тяжкості наслідків переривань роботи.

**Етап 10 – Формування переліку коригувальних заходів.** Після виконання попереднього етапу проводиться аналіз  $R_i$  переривань  $D_i$  і необхідно імплементувати відповідні коригувальні заходи (напрямок розробки цих заходів впливають з (14)–(17), тобто якщо у добутку (14) один із множників є найбільшим, то, очевидно, що мета коригувальних заходів має полягати в зниженні саме цього коефіцієнта). Оцінка ефективності коригувальних заходів проводиться шляхом повторного розрахунку  $R_i$  (див. етап 8). Далі, оперуємо початковим значенням  $R_{begin}$  (до імплементатії коригувальних заходів) і кінцевим  $R_{finish}$  (після імплементатії коригувальних заходів): якщо  $R_{finish} < R_k$  то коригувальні заходи, спрямовані на підвищення КБ, можна рекомендувати до використання.

Для складання переліку коригувальних заходів відбувається виявлення причинно-наслідкових закономірностей за діаграмою Ісікави [19], яка для кожного критичного переривання роботи  $R_{begin}$  системи  $S_{ij}$

відображає характеристики, з якими пов'язане виникнення  $D_i$  і підвищує ефективність розробки коригувальних заходів.

Наприклад, для складання переліку коригувальних заходів для підсистеми  $S_{TCAS}$  побудуємо причинно-наслідкову діаграму Ісікави (рис. 3).

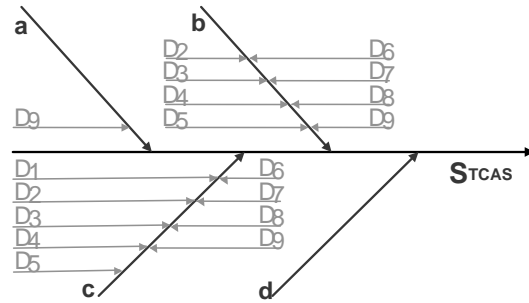


Рис. 3. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для підсистеми  $S_{TCAS}$

Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для системи  $S_{TCAS}$  поділила всі ідентифіковані  $D_i$  за основними причинами (параметрами) їх виникнення, а саме через помилки: користувачів (а), програмного забезпечення (б), апаратного забезпечення (с), мережевих технологій (д). Отже, пріоритетними напрямками розробки коригувальних заходів є усунення причин, пов'язаних з апаратним та програмним забезпеченням системи (б та с на рис. 3).

Для визначення переліку можливих коригувальних заходів кожного  $C_i$  введемо множину коригувальних заходів  $K$ :

$$K = \left\{ \bigcup_{i=1}^g K_i \right\} = \{K_1, K_2, \dots, K_g\}, \quad (19)$$

де  $K_i \subseteq K$ ,  $(i = \overline{1, g})$  – коригувальні заходи,  $g$  – загальна кількість коригувальних заходів.

Перелік  $K_i$  для досліджуваних  $S_{ij}$  формуємо у вигляді табл. 10:

Перелік коригувальних заходів				Таблиця 10
$S_{ijk}$	$D_i$	$R_{begin}$	$K_i$	$R_{finish}$
$S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijg}$	$D_1, D_2, \dots, D_p$	$R_1, R_2, \dots, R_w$	$K_1, K_2, \dots, K_g$	$R_{finish1}, R_{finish2}, \dots, R_{finishw}$

Наприклад, для кожного можливого переривання роботи підсистем  $S_{TCAS}$  при  $g = 2$ , з використанням (19), представимо множину способів виявлення переривань (які підпадають під правило 2 у (18)) так:

$$K = \left\{ \bigcup_{i=1}^2 K_i \right\} = \{K_1, K_2\} = \{K_{PONA}, K_{OROB}\},$$

де  $K_1 = K_{PONA}$  – огляд та ремонт направленої антени;  $K_2 = K_{OROB}$  – огляд та ремонт обчислювального блоку системи.

Перелік необхідних до імплементатії коригувальних заходів для підсистеми  $S_{TCAS}$  представлено у табл. 11. Оцінка ефективності коригувальних заходів проводиться шляхом повторного розрахунку  $R_i$  (див. етап 8). Далі, оперуємо початковим значенням  $R_{begin}$  (до імплементатії  $K_i$ ) і кінцевим  $R_{finish}$  (після імплементатії  $K_i$ ): якщо  $R_{finish} < R_k$  то коригувальні заходи,

спрямовані на підвищення КБ, можна рекомендувати до використання.

Перелік коригувальних заходів Таблиця 11

$S_{ij}/S_{ijk}$	$D_i$	$R_{begin}$	$K$	$R_{finish}$
$S_{TCAS}$	$D_1$	$R_{begin} = 72$	$K_{ПОНА}$	$R_{finish} = 2 \cdot 3 \cdot 9 = 54$
	$D_2$	$R_{begin} = 112$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 2 \cdot 6 \cdot 7 = 84$
	$D_3$	$R_{begin} = 126$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$
	$D_4$	$R_{begin} = 126$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_5$	$R_{begin} = 126$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 2 \cdot 6 \cdot 8 = 96$
	$D_6$	$R_{begin} = 126$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_7$	$R_{begin} = 144$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 3 \cdot 5 \cdot 8 = 120$
	$D_8$	$R_{begin} = 112$	$K_{ОРОБ}$	$R_{finish} = 2 \cdot 7 \cdot 7 = 98$

З табл. 11 видно які коригувальні заходи можуть бути імплементовані, та на скільки вони зменшують рівень критичності (темно сірим кольором позначені  $D_i$ , які за допомогою коригувальних заходів стали незначними, а світло сірим позначені  $D_i$ , які за допомогою коригувальних заходів перейшли з рівня критичних у рівень подальшого аналізу та контролю).

**Етап 11 - Складання звіту.** На цьому етапі відбувається систематизація даних, отриманих на попередніх етапах ( $S_i, S_{ij}, C_i, F_i, D_i, E_i, O_i, W_i$  та  $R_i$ ), візуалізація якісних та обчислення кількісних значень критичності КАІС. Етап передбачає систематизацію всієї інформації у вигляді табл. 12, приклад побудови звіту для  $S_{TCAS}$  представлено у табл. 13.

Звіт для всіх рівнів аналізу у загальному вигляді

Таблиця 12

$S_i/S_{ij}/S_{ijk}$	$C_i$	$F_i$	$D_i$	$E_i$	$O_i$	$W_i$	<b>R</b>			
							$B_1$	$B_2$	$B_3$	$R_i$
$S_1, S_2, \dots, S_n$										
$S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}$	$C_1, C_2, \dots, C_b$	$F_1, F_2, \dots, F_f$	$D_1, D_2, \dots, D_p$	$E_1, E_2, \dots, E_q$	$O_1, O_2, \dots, O_r$	$W_1, W_2, \dots, W_s$	$B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1c}$	$B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2t}$	$B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}$	$R_1, R_2, \dots, R_w$
$S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{jn}$										

Звіт для всіх рівнів аналізу (приклад для  $S_{2.4.2}$ )

Таблиця 13

$S_i/S_{ij}/S_{ijk}$	$C_i$	$F_i$	$D_i$	$E_i$	$O_i$	$W_i$	<b>R</b>			
							$B_1$	$B_2$	$B_3$	$R_i$
$S_{2.4.2}$	$C_1$	$F_1$	$D_1$	$E_1$	$O_1$	$W_1$	2	4	9	72
	$C_2$	$F_2$	$D_2$	$E_2$	$O_1$	$W_1$	2	7	8	112
	$C_3$	$F_3$	$D_3$	$E_2$	$O_1$	$W_1$	3	6	7	126
	$C_4$	$F_4$	$D_4$	$E_2$	$O_1$	$W_1$	3	6	7	126
	$C_5$	$F_5$	$D_5$	$E_3$	$O_1$	$W_1$	2	7	9	126
		$F_6$	$D_6$		$O_1$	$W_1$	3	6	7	126
		$F_7$	$D_7$		$O_1$	$W_1$	3	6	8	144
		$F_8$	$D_8$		$O_1$	$W_1$	2	7	8	112
		$F_9$	$D_9$			$W_1$	2	4	6	48
		...								
		$F_{14}$								

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 на-

прямки розробки відповідних коригувальних заходів (етап 10).

### Висновки

У роботі розроблено метод визначення рівня важливості об'єктів КП, який, за рахунок введення базової множини систем та відповідних підмножин підсистем, компонентів, функцій, порушень безперервності роботи, їх ознак і наслідків, а також побудови тривимірної матриці критичності, діаграми Парето, причинно-наслідкової діаграми Ісікави та розрахунку додаткових вагових коефіцієнтів критичності, дає можливість проводити оцінювання рівня важливості об'єктів КП, ранжувати КАІС як за кількісними, так і за якісними параметрами та пропонує множину коригувальних заходів для зменшення виявленого рівня критичності.

У подальшому дослідженні планується розробка програмного забезпечення, яке на основі запропонованого методу дозволить провести експериментальне дослідження та підтвердити можливість визначення рівня важливості КАІС різних категорій (систем аеронавігаційного обслуговування, бортових інформаційних систем повітряних суден та систем авіакомпаній та аеропортів), а також оцінювати об'єкти критичної інфраструктури інших галузей.

### Література

[1] Сидоренко В.М. Сучасні підходи до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів критичної інфраструктури / С.О. Гнатюк, В.М. Сидоренко, О.П. Дуксенко // Безпека інформації. – Т. 21, №3. – 2015. – С. 269-275.

[2] R. Mattioli, C. Levy-Bencheton, Methodologies for the identification of Critical Information Infrastructure assets and services, ENISA Report. – 2014. – 43 с.

[3] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М.: Стандартинформ, – 2012. – 74 с.

[4] Гнатюк С.О. Аналіз методів розрахунку критичності інформаційних систем / С.О. Гнатюк, Р.С. Одарченко, В.М. Сидоренко // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016): Дев'ята міжнар. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2016 р.: тези доп. – К.: НАУ, 2016. – С.279-281.

[5] Харченко В.С. Комплексный анализ гарантоспособности информационно-управляющих систем и инфраструктур: FME(C)A-модели и информационная технология / В.С. Харченко, Ирадж Эльяси Комари // Проблемы информатизации та управління: зб. наук. пр. – В.1 (23). – К., 2008. – С. 92-97.

[6] Аналіз применимости методов оценки рисков к процессам аутентификации при удалённом электронном взаимодействии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aladdinrd.ru/company/pressroom/articles/41285/>

[7] Методологии управления ИТ-рисками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2006/08/3584582/>

[8] ГОСТ 27.310-95, Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Минск: ИПК Издательство стандартов. – 1996. – 23 с.

[9] ГОСТ Р 51901.12:2007, Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М.: Стандартинформ. – 2008. – 36 с.

[10] Сидоренко В.М. Визначення рівня важливості об'єктів критичної інфраструктури держави у галузі цивільної авіації / В.М. Сидоренко, О.А. Шаховал // Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики: V всеукр. наук.-практ. конф. мол. уч. і студ. з міжнар. уч., 29-30 листопада 2016 р.: тези доп. – К.: НАУ, 2016. – С.110.

[11] Корченко О.Г. Кібернетична безпека держави: характерні ознаки та проблемні аспекти // О.Г. Корченко, В.Л. Бурячок, С.О. Гнатюк / Безпека інформації. – Т. 19, №1. – 2013. – С. 40-45.

[12] Doc 8973 ICAO «Керівництво з авіаційної безпеки» (Restricted). – Вид. 8. – 2011. – 748 с.

[13] Гнатюк С.О. Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи / С.О. Гнатюк, Д.В. Васильєв // Безпека інформації. – Т. 22, №1. – 2016. – С. 51-57.

[14] Яновський Ф.Й. Радіолокаційні системи повітряних суден: підруч. / Ф.Й. Яновський. – К.: НАУ, 2012. – 688 с.

[15] Система отображения воздушной обстановки и предотвращения столкновений самолетов в воздухе TCAS / ACAS II / Руководство для летчиков. – С.90.

[16] Безопасность и надежность технических систем / Л.Н.Александровская, И.З.Аронов, В.И.Круглов и др.: учеб. Пос. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 376 с.

[17] Анализ видов, последствий критичности отказов: методические материалы. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2005-2011. – 21с

[18] Integrated Logistic Support. DEF STAN 00-60. U.K. Ministry of Defence. Jan. 1999. – 26 pp.

[19] Елисева Т.А. Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО / Известия ТулГУ. Технические науки. В.5. – Тула, 2013. – С. 182-186.

### УДК 004.056.5 (045)

**Щербак Л.Н., Гнатюк С.А., Сидоренко В.Н., Шаховал А.А. Метод определения уровня важности объектов критической информационной инфраструктуры в области гражданской авиации**

**Аннотация.** Процесс бурного развития информационно-коммуникационных технологий вызвал значительные, а иногда и революционные изменения во всех сферах жизнедеятельности людей большинстве стран мира. Это существенно повысило уязвимость различных сетей, систем и объектов и значительно усложнило обеспечения их надежной защиты и безопасности. Все эти факторы обусловили то, что ведущие государства мира стали уделять значительное внимание средствам защиты наиболее важных объектов, систем и ресурсов, а также процессам идентификации критических инфраструктур, расчета их уровня критичности и оценке последствий возможных прерываний работы. Однако, как показал проведенный анализ, на сегодня не существует универсального метода, который мог бы использоваться для определения уровня критичности информационных инфраструктур, в частности в области гражданской авиации. В работе предложен формализованный метод определения уровня важности объектов критической информационной инфраструктуры государства в области гражданской авиации, который за счет введения базовой множества систем и соответствующих множеств подсистем, компонентов, функций, нарушений непрерывности работы (прерывание работы, потери функциональности), их признаков и последствий, а также построения трехмерной матрицы критичности и расчета дополнительных весовых коэффициентов критичности, дает возможность проводить оценку уровня важности и ранжировать критические авиационные информационные системы как по количественным и, так и по качественным параметрам. В дальнейшем планируется разработать на базе этого метода специальное программное обеспечение, которое позволит провести экспериментальное исследование для верификации возможности определения уровня важности критических авиационных информационных систем различных категорий.

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

**Shcherbak L., Gnatyuk S., Sydorenko V., Shakhoval O. Method of determination the level of the state critical infrastructure importance in the civil aviation**

**Abstract.** The process of rapid development of information and communication technologies caused considerable and sometimes revolutionary changes in all life spheres of most countries. It significantly increased the vulnerability of different networks, systems and facilities and was much complicated the ensuring of their reliable protection and security. All these factors led the fact that leading countries began to devote great attention to the protection of the most important means for the security of its citizens, society and the state; objects, systems and resources, and processes of critical objects identification, calculation of their criticality level and the assessment of the effects of possible interruptions. In this paper the formalize method of determination the level of the state critical infrastructure importance in the field of civil aviation is proposed that by introducing a basic set of system and sets of subsystems, components, functions, continuity disturbances (interruptions, functional loss), their characteristics and effects, and constructing a three-dimensional matrix of criticality and calculation of the additional weight criticality factors, makes it possible to assess (determine) the importance level and rank critical aviation information systems both by both quantitative and qualitative parameters. In further research study based on this method special software will allow for experimental research and confirm the possibility of determining the importance level of different categories of critical aviation information systems.

**Key words:** critical infrastructure, determine the level of criticality, critical information infrastructure, critical aviation information systems, civil aviation.

---

Отримано 5 квітня 2017 року, затверджено редколегією 20 квітня 2017 року

---