

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Сидоренко Вікторія Миколаївна

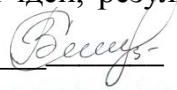
УДК 004.056.5:656.7.08 (043.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ  
ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ  
АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ**

Спеціальність 21.05.01 – «Інформаційна безпека держави»

Подається на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело \_\_\_\_\_ 

Науковий керівник:

**Гнатюк Сергій Олександрович**

доктор технічних наук, доцент,

доцент кафедри безпеки

інформаційних технологій ННІДС НАУ

Київ – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Сидоренко В.М.* Методи ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.05.01 «Інформаційна безпека держави». – Національний авіаційний університет, Київ, 2018.

Проведено аналіз сучасних підходів до ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ держави, у результаті чого встановлено, що на сьогодні в Україні відсутній вичерпний перелік об'єктів КІІ та дієві механізми його формування. Також визначено, що відомі підходи до ідентифікації об'єктів КІ орієнтовані, як правило, на економічні, екологічні, техногенні та інші домени безпеки держави та не враховують особливостей КІІ. Існуючі методи визначення рівня критичності не є формалізованими, а методи оцінювання рівня КБ мають низку недоліків, серед яких, відсутність обґрунтування та чіткого кількісного визначення метрик КБ. Проведений аналіз дозволив формалізувати завдання дисертаційного дослідження щодо розробки і вдосконалення методів ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі.

Розроблено уніфіковану модель даних, яка дозволяє формалізувати процес формування переліку об'єктів КІІ держави та визначати їх зв'язність. Також, створено методику, за допомогою якої сформовано перелік об'єктів КІІ авіаційної галузі, у результаті чого (при рівні деталізації  $l = 4$ ) виділено 3 множини категорій, 17 множин систем, 97 множин підсистем, 125 підсистем КАІС. Крім того, використовуючи зазначений перелік, визначено зв'язність КАІС  $Q_Y = \{1,1,1,2,2,5,1,1,1,1,1\}$  та КЗ  $Q_X = \{1,1,1,2,2,1,1,1,1,1,3,1,1,1\}$ , що свідчить про можливість каскадного ефекту КЗ у процесі їх впливу на КАІС. Зазначені результати можуть бути використані відповідними державними органами для формування переліку об'єктів КІІ з метою застосування адекватних методів і засобів захисту.

Розроблено метод ідентифікації, який дає можливість визначати (ідентифікувати) елементи галузі КІІ, їх взаємовплив та вплив на функціональні операції КАІС. Також, розроблено і впроваджено спеціальний програмний застосунок, який можна використовувати для ідентифікації елементів КІІ та визначення їх впливу на функціональні операції, як в авіаційній, так і в інших галузях КІ держави.

Удосконалено метод визначення рівня важливості, який дозволяє оцінювати критичність об'єктів КІІ авіаційної галузі як за кількісними, так і за якісними параметрами, а також ранжувати їх для адекватного застосування коригувальних заходів. На основі цього методу створено відповідну методику визначення рівня важливості об'єктів КІІ, яка дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів.

Розроблено метод оцінювання рівня КБ, який дає можливість розрахувати кількісні параметри, що характеризують захищеність певної галузі чи КІІ держави в цілому. У результаті проведеного експериментального дослідження встановлено, що для вітчизняної авіаційної галузі, як складової КІ держави, рівень КБ становить 7% (при значенні індексів: КБ – 62,5%, ІКТ – 55,5%).

На основі запропонованої методики з використанням розробленого спеціалізованого програмного застосунку, проведено експериментальне дослідження і верифіковано отримані у роботі методи та модель. Результати дисертації впроваджені і використовуються у діяльності ТОВ «Аксонсофт» (акт від 17.04.2018), ДержНДІ Спецзв'язку (акт від 07.02.2017), ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (акт від 11.04.2017), а також у навчальному процесі кафедри безпеки інформаційних технологій НАУ (акт від 15.12.2017) для підвищення ефективності підготовки фахівців з КБ.

*Ключові слова:* кібербезпека, критична інфраструктура, критична інформаційна інфраструктура, модель даних, метод ідентифікації, авіаційна галузь, критичні авіаційні інформаційні системи.

## ABSTRACT

*Sydorenko V.* Methods for critical information infrastructure objects identification and cybersecurity assessment in aviation. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Science degree in specialty 21.05.01 «Information security of the state». – National Aviation University, Kyiv, 2018.

This thesis is devoted to solving actual scientific and technical problem of developing methods for critical information infrastructure (CII) objects identification and cybersecurity (CS) assessment. In this work modern approaches to CII objects identification and CS assessment was analyzed, it allowed to identify their shortcomings and formalize scientific tasks of the research, regarding to development and improvement of methods for CII objects identification and CS assessment.

A unified data model is developed, that allows formalizing the process of creating a CII objects list for the state, and determine their connectivity (the ratio of  $q$ -bonds of cyber threats and the critical aviation information system (CAIS) sets). In addition, a technique was developed, which allows creating a CII objects list both for particular sphere and national level.

Method for identification was developed, and it allows identifying CII sphere elements, their influence on functional CAIS operations. Also, a special software application has been developed and implemented, which can be used to identify CII elements and determining their influence on functional operations.

Method for determining importance level was improved, which allows evaluating the CII objects criticality in aviation, and rank them for corrective measures adequate use.

Method for CS assesment was developed, it gives opportunity to calculate the quantitative parameters, which characterize the security of a particular sphere or CII of the state as a whole. Based on proposed research technique and developed software application, an experimental study was carried out and verified developed methods and model.

The results of the thesis were implemented and used in the activity of following companies: AxxsonSoft, State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine, Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, and also at IT-Security Academic Department of National Aviation University in educational process to increase the efficiency of training specialists in CS.

*Key words:* cybersecurity, critical infrastructure, critical information infrastructure, data model, identification method, aviation, critical aviation information systems.

### Список публікацій здобувача

1. V. Sydorenko, T. Zhmurko, Yu. Polishchuk, S. Gnatyuk, «Data Model for Forming Critical Infrastructure Objects and Determining its Connectivity», *Inzynier XXI wieku, Monografia, Bielsko-Biala, Poland : ATH*, p. 329-350, 2017.
2. Z. Hu, Yu. Khokhlachova, V. Sydorenko, I. Opirskyy «Method for Optimization of Information Security Systems Behavior under Conditions of Influences», *International Journal Intelligent Systems and Applications*, № 12, p. 46-58, 2017.
3. Z. Hu, V. Gnatyuk, V. Sydorenko, R. Odarchenko, S. Gnatyuk «Method for Cyberincidents Network-Centric Monitoring in Critical Information Infrastructure», *International Journal of Computer Network and Information Security*, Vol. 9, № 6, June 2017, p. 30-43, 2017.
4. Aleksander M., Odarchenko R., Kredentsar S., Kozhokhina O., Gnatyuk V., Sydorenko V. «Informational and Functional Reliability Model for Air Navigation System Operator», *TTS, Badania*, №12, p. 287-292, 2016.
5. С. Гнатюк, М. Рябий, В. Лядовська, «Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захисту: аналіз підходів», *Зв'язок*, №4, С. 3-7, 2014.
6. С. Гнатюк, В. Сидоренко, О. Дуксенко, «Сучасні підходи до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів критичної інфраструктури», *Безпека інформації*, Том 21, №3, с. 269-275, 2015.
7. Л. Щербак, С. Гнатюк, В. Сидоренко, О. Шаховал, «Метод визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в галузі цивільної авіації», *Безпека інформації*, Том 23, №1, с. 27- 38, 2017.
8. В. Сидоренко, С. Гнатюк, О. Юдін, «Експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в галузі цивільної авіації», *Захист інформації*, Том 19, №2, с. 155-172, 2017.
9. С. Гнатюк, В. Сидоренко, Н. Сейлова, «Універсальна модель даних для формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави», *Безпека інформації*, Том 23, №2, с. 80-91, 2017.
10. С. Гнатюк, В. Кінзерявий, В. Сидоренко, «Метод ідентифікації об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в авіаційній галузі», *Information technology and security*, July-December 2017. Vol. 5. Iss. 2, p. 27- 39, 2017.

11. В. Сидоренко, А. Положенцев, С. Гнатюк, «Метод оцінювання рівня кібербезпеки галузі критичної інформаційної інфраструктури держави», Вісник інженерної академії України, Вип. 42, с. 81- 89, 2017.

12. С. Гнатюк, В. Лядовська, «Критерії визначення елементів критичної інфраструктури держави», *Матеріали XXIII всеукр. наук.-практ. конф. «Інноваційний потенціал світової науки — XXI сторіччя»*. Запоріжжя: Вид-во ПГА, с. 55-57, 2013.

13. С. Гнатюк, В. Лядовська, «Підходи до визначення критичної інфраструктури держави», *Матеріали наук.-практ. конф. «Механізми управління безпекою підприємств в сучасних умовах господарювання»*, м. Київ, 5 грудня 2013 р., с. 83-84, 2013.

14. С. Гнатюк, В. Лядовська, «Ідентифікація об'єктів критичної інфраструктури держави», *Матеріали наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави»*, м. Київ, 20 березня 2014 р., с. 48-52, 2014.

15. В. Лядовська, «Методи та критерії ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури держави», *Матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014)»*, м. Київ, 19-20 травня 2014 р., с. 356-358, 2014.

16. S. Gnatyuk, M. Ryabyu, V. Sydorenko, «Complex approach to ensure civil aviation cybersecurity», *Международ. науч. конф.: «Украина – България – Европейски Съюз: съвременно състояние и перспективи»*, Варна – Херсон, 11-17 септември 2014 г., с. 253-257, 2014.

17. S. Gnatyuk, V. Sydorenko, «Criteria for the identification of critical infrastructures of the state», *The VI world congress «Aviation in the XXI-st century. Safety in Aviation and Space Technologies»*, Kyiv, September 23-25, 2014, V. 1, p. 1.11.68-1.11.71, 2014.

18. С. Гнатюк, В. Сидоренко, «Критична інфраструктура держави», *Матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2015. Сучасні проблеми науки»*, м. Київ, 8-9 квітня 2015 р., с. 131, 2015.

19. В. Сидоренко, «Методи виявлення критично важливих об'єктів інфраструктури держави», *Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2015)»*, м. Київ, 18-19 травня 2015 р., с.279-281, 2015.

20. С. Гнатюк, В. Сидоренко, «Огляд методів оцінювання критично важливих об'єктів», *Матеріали IV всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики»*, м. Київ, 28-29 жовтня 2015 р., с. 110, 2015.

21. В. Сидоренко, М. Александер, А. Наджі, «Сучасні підходи до визначення та ідентифікації критичної інформаційної інфраструктури», *Матеріали наук.-практ. конф. «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації»*, м. Київ, 24-27 лютого 2016 р., с. 134-137, 2016.

22. С.О. Гнатюк, Р.С. Одарченко, В.М. Сидоренко «Аналіз методів розрахунку критичності інформаційних систем», *Матеріали IX міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК–2016)»*, 17-18 травня 2016 р., К. : НАУ, с. 284-286, 2016.

23. В. Сидоренко, А. Оган, «Методи розрахунку критичності інформаційних систем в контексті оцінювання ризиків інформаційної безпеки», *Матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. «Безпека інформаційних технологій (ITSEC–2016)»*, 17-19 травня 2016 р., К.: НАУ, с. 123-124, 2016.

24. В. Сидоренко, «Способи відображення результатів оцінювання рівня важливості об'єктів критичної інфраструктури», *Матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2017. Сучасні проблеми науки»*, м. Київ, 5-7 квітня 2017 р., С. 102-103, 2017.

25. В. Сидоренко, В. Гнатюк, В. Лукашенко, «Підхід до визначення рівня важливості об'єктів критичної інфраструктури в галузі цивільної авіації», *Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації»*, м. Київ, 22-25 лютого 2017 р., с.155-157 , 2017.

26. А. Положенцев, В. Сидоренко, «Метод визначення рівня кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури держави», *Матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2018. Сучасні проблеми науки»*, м. Київ, 4-6 квітня 2018 р., с. 102-103, 2018.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
Розділ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ’ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЕРЖАВИ.....	19
1.1. Дефініційний аналіз понять пов’язаних з КІ держави.....	19
1.2. Цивільна авіація як галузь КІ України.....	30
1.3. Аналіз підходів до ідентифікації об’єктів КІ.....	33
1.4. Аналіз підходів до визначення рівня важливості об’єктів КІ.....	40
1.5. Підходи до оцінювання рівня КБ.....	44
1.6. Формалізація завдання дисертаційного дослідження.....	47
1.7. Висновки до першого розділу.....	48
1.8. Список літератури до першого розділу.....	48
Розділ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ОБ’ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ.....	58
2.1. Уніфікована модель даних для формування переліку об’єктів КІ держави.....	58
2.2. Формування переліку об’єктів галузі КІ.....	62
2.3. Побудова матриці інцидентності та визначення зв’язності КЗ та КАІС.....	88
2.4. Метод ідентифікації об’єктів КІ авіаційної галузі.....	95
2.4. Висновки до другого розділу.....	103
2.5. Список літератури до другого розділу.....	104
Розділ 3. ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ.....	108
3.1. Метод визначення рівня важливості об’єктів КІ в галузі цивільної авіації.....	108
3.2. Метод визначення рівня КБ галузі КІ держави.....	123

3.3. Висновки до третього розділу.....	127
3.4. Список літератури до третього розділу.....	128
<b>Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ</b>	
<b>МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ.....</b>	<b>130</b>
4.1. Методика експериментального дослідження.....	130
4.2. Експериментальне дослідження методу ідентифікації об'єктів КІІ авіаційної галузі.....	133
4.3. Експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ авіаційної галузі.....	154
4.4. Експериментальне дослідження методу визначення рівня КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі.....	174
4.5. Висновки до четвертого розділу.....	179
4.6. Список літератури до четвертого розділу.....	179
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>182</b>
Додаток А. Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації.....	184
Додаток Б. Лістинги (код) програмного засобу .....	188

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

- АС** – автоматизована система;
- ІБ** – інформаційна безпека;
- ІКС** – інформаційно-комунікаційні системи;
- ІКТ** – інформаційно-комунікаційні технології;
- ІС** – інформаційна система;
- ІТ** – інформаційні технології;
- ІТС** – інформаційно-телекомунікаційні системи;
- КАІС** – критичні авіаційні інформаційні системи;
- КБ** – кібернетична безпека;
- КБП** – кіберпростір;
- КЗ** – кіберзагроза;
- КІ** – критична інфраструктура;
- КІІ** – критична інформаційна інфраструктура;
- ЦА** – цивільна авіація.

## ВСТУП

**Актуальність.** Сучасні тенденції розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) спричинили феноменальну залежність суспільства від послуг, які надають різноманітні галузі інфраструктури. Сьогодні якість та доступність таких послуг є одними 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 (КІ) держави. Зазвичай, до цієї категорії відносять енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- та газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення мегаполісів, високо-технологічні підприємства та підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади. Особливої уваги потребує авіаційна галузь, з огляду на необхідність забезпечення безперервної комунікації та взаємодії між наземними системами і повітряними суднами. 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. Проте, необмежена кількість об'єктів і параметрів систем, які постійно варіюються, та важко прогнозована поведінка об'єктів з великою кількістю взаємозв'язків є основними причинами труднощів виявлення об'єктів КІ держави. Базовим компонентом КІ є інформаційна складова – критична інформаційна інфраструктура (КІІ). Основними причинами важливості КІІ є широке застосування ІКТ у всіх сферах людської діяльності, залежність від них громадян, суспільства і держави, а також збільшення уразливостей та потенційних загроз різного характеру (зокрема у кіберпросторі, т.з. кіберзагроз (КЗ)). Крім того, в деяких державах особливий

акцент ставиться на значення КІ для нації, навіть саме визначення КІ вживається як критична національна інформаційна інфраструктура. Що стосується України, то законодавча база регулювання захисту КІ знаходиться на початковій стадії формування, зокрема триває (поки що, на жаль, без особливих успіхів) процес ідентифікації об'єктів КІ держави у різних галузях.

Питаннями захисту КІ держави займаються такі вітчизняні та закордонні вчені: Х. Алькарас, Д. Бірюков, Д. Бобро, Д. Грітсаліз, О. Довгань, Є. Єлісеєва, А. Кондратьєв, М. Мерабті, Л. Романо, Х. Сятерліс, І. Фовіно, В. Харченко та ін.

Проте переважна більшість досліджень не є системними: здебільшого вони орієнтовані на розробку й застосування превентивних та контрзаходів для захисту окремих об'єктів КІ чи КІІ; мало уваги приділяється механізмам формування переліку КІ держави (ідентифікації, розрахунку критичності, оцінюванню КЗ та уразливостей), а також оцінюванню поточного стану кібербезпеки (КБ); для визначення рівня критичності використовуються відомі методи й методики (згідно міжнародних стандартів та рекомендованих практик), які не є формалізованими, що ускладнює їх застосування на загальнодержавному рівні, зокрема в авіаційній галузі.

З огляду на зазначене, розроблення методів ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі є *актуальною науково-технічною задачею*, що має теоретичне і практичне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи та одержані результати безпосередньо пов'язані з «Основними науковими напрямками та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2014-2018 роки», Постановою КМУ від 23 серпня 2016 року №563 «Про затвердження Порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави», зі Стратегією національної безпеки України від 26 травня 2015 року

№ 287/2015, зі Стратегією кібербезпеки України від 15 березня 2016 року №96/2016 і Рамковою програмою ЄС з досліджень та інновацій «Горизонт 2020», зокрема за напрямком СІР-01-2016-2017 («Попередження, виявлення, реагування та мінімізація негативного впливу від фізичних та кіберзагроз на критичну інфраструктуру Європи»). Результати роботи відображені у звітах держбюджетних НДР НАУ «Квантово-криптографічні методи захисту критичної інформаційної інфраструктури держави» (д.р. № 0111U000171), НДР ІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України «Дослідження та розробка методів оцінювання захищеності інформації в розподілених високопродуктивних інформаційних системах при вирішенні задач енергетики», шифр «МОД-Д» (д.р. № 0114U002361), а також у звіті ДКР ДержНДІ Спецзв'язку, шифр «Інфраструктура» (д.р. № 0114U000038д), у яких здобувач брав участь у якості виконавця.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є забезпечення можливості ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **основні задачі:**

- провести аналіз сучасних підходів до ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави;
- розробити уніфіковану модель даних для формалізації процесу формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави;
- розробити метод ідентифікації для визначення елементів інфраструктури галузі критичної інформаційної інфраструктури, їх взаємовпливу та впливу на функціональні операції системи;
- удосконалити метод визначення рівня важливості для кількісного і якісного оцінювання критичності об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі;

- розробити метод оцінювання рівня КБ для розрахунку кількісних параметрів, які характеризують захищеність об'єктів критичної інфраструктури в авіаційній галузі;

- створити спеціалізоване програмне забезпечення для верифікації розроблених у роботі моделі та методів.

**Об'єктом дослідження** є процеси ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ.

**Предметом дослідження** є методи, моделі і засоби ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі.

**Методи дослідження.** Проведені дослідження базуються на сучасних методах теорії захисту інформації (для визначення метрик у методі визначення рівня КБ), теорії множин (для формалізації етапів методу визначення рівня важливості критичних авіаційних інформаційних систем (КАІС)); системного та структурного аналізу (визначення відношень  $q$ -зв'язків КЗ та КАІС, ієрархічного представлення систем в уніфікованій моделі); теорії графів (для відображення елементів КІІ та їх функціональних процесів у методі ідентифікації об'єктів КІІ).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у такому:

- *вперше розроблено* уніфіковану модель даних, яка за рахунок мультирівневої деталізації критичних авіаційних інформаційних систем, ієрархічного представлення множин, що характеризують системи та їх компоненти, а також введення матриці інцидентності кібербезпеки критичної інфраструктури, її симплексних комплексів та  $Q$ -аналізу, дозволяє формалізувати процес формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави та визначити їх зв'язність (співвідношення  $q$ -зв'язків множин кіберзагроз та критичних авіаційних інформаційних систем);

- *вперше розроблено* метод ідентифікації, який за рахунок графоаналітичного відображення елементів критичної інфраструктури і їх функціональних процесів, формування можливих чинників і функцій впливу, а

також матриці впливу елементів інфраструктури на функціональні операції, дає можливість визначити (ідентифікувати) елементи галузі критичної інформаційної інфраструктури, їх взаємовплив та вплив на функціональні операції критичної авіаційної інформаційної системи;

– *удосконалено* метод визначення рівня важливості, який за рахунок ієрархічного відображення множин, що характеризують критичні авіаційні інформаційні системи різних рівнів деталізації, їх функції, порушення безперервності роботи, відповідні ознаки і наслідки, а також побудови тривимірної матриці критичності, причинно-наслідкової діаграми Ісікави і узгодження вагових коефіцієнтів критичності, дозволяє оцінювати критичність об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі та ранжувати їх для адекватного застосування коригувальних заходів;

– *отримав подальшого розвитку* метод оцінювання рівня кібербезпеки, який за рахунок представлення множин метрик кібербезпеки і метрик розвитку та впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у вигляді зв'язаних списків, а також обчислення індексу кібербезпеки та відповідних метрик, дає можливість розрахувати кількісні параметри, які характеризують захищеність певної галузі чи критичної інформаційної інфраструктури держави в цілому.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в дисертаційній роботі результати можуть бути використані відповідними державними органами для формування переліку об'єктів КІІ з метою застосування адекватних механізмів захисту. Практична цінність роботи полягає у такому:

– створено методику, яка дозволяє формувати перелік об'єктів КІІ певної галузі та на загальнодержавному рівні;

– реалізовано програмний застосунок, який можна використовувати для ідентифікації елементів КІІ та визначення їх впливу на функціональні операції;

– створено методику визначення рівня важливості об'єктів КІІ, яка дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів;



– результати дисертації впроваджені і використовуються у діяльності ТОВ «Аксонсофт», ДержНДІ Спецзв'язку, ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, а також у навчальному процесі кафедри безпеки інформаційних технологій НАУ для підвищення ефективності підготовки фахівців з КБ.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать: [1, 9] – розроблення формалізованої моделі даних для формування переліку об'єктів КІІ і визначення їх зв'язності; [2, 3, 11, 16, 26] – розроблення методу визначення рівня КБ галузі КІІ держави; [4, 7, 8, 24, 25] – теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ; [5, 12, 13, 18] – дефініційний аналіз щодо захисту КІІ держави; [6, 10, 14, 17, 21] – розроблення методу ідентифікації об'єктів КІІ в авіаційній галузі; [15, 19, 20, 22, 23] – аналіз методів оцінювання рівня критичності.

З робіт, що опубліковані у співавторстві, у дисертаційній роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких наукових конференціях: МНТК «ITSEC: Безпека інформаційних технологій» (Київ, 2016 р.), МНПК «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК)» (Київ, 2014 – 2016 рр.), ВНПК «Інноваційний потенціал світової науки — XXI сторіччя» (Запоріжжя, 2013 р.), НПК «Механізми управління безпекою підприємств в сучасних умовах господарювання» (Київ, 2013 р.), НПК «Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави» (Київ, 2014 р.), Всесвітній конгрес «Авіація у XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології» (Київ, 2014 р.), ВНПК «Проблеми і перспективи розвитку авіації та космонавтики» (Київ, 2015 р.), НПК «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації» (Київ, 2016 – 2018 рр.), МНК «Україна – България – Европейски Съюз: съвременно състояние и перспективи» (Варна,

2014 р.), Міжвідомчий міжрегіональний семінар Наукової ради НАН України «Технічні засоби захисту інформації» (Київ, 2017 р.) та ін.

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 26 наукових працях, у тому числі: 1 розділ у колективній монографії, 10 наукових статей (3 – у закордонних рецензованих виданнях (1 з яких входить до бази даних Scopus), 7 – у вітчизняних фахових наукових журналах), а також 15 матеріалів і тез доповідей на конференціях.

**Структура роботи та її обсяг.** Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел і має 167 сторінок основного тексту, 54 рисунки, 49 таблиць, 16 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 151 найменування і займає 16 сторінок. Загальний обсяг роботи 199 сторінок.

## РОЗДІЛ 1

# СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЕРЖАВИ

### 1.1. Дефініційний аналіз понять пов'язаних з КІ держави

Сучасне суспільство повністю залежить від інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) і мереж, відмова яких, може призвести до хаосу, значних фінансових збитків та навіть масової загибелі людей. Щоправда, більша частина людства схильна приймати найважливіші послуги (зокрема, їх якість) як належне, поки щось або хтось не порушить їх роботу. Для визначення і узагальнення найважливіших та найуразливіших активів держави, порівняно нещодавно, до міжнародного законодавства було введено термін «КІ». Транспортні та енергетичні мережі, нафто та газопроводи, урядові та військові об'єкти є життєво важливими компонентами діяльності сучасного суспільства, проте останнім часом актуальним постало питання забезпечення безпеки зазначених об'єктів і захисту КІ у цілому.

Поняття КІ почали активно вживати у другій половині 90-х років минулого сторіччя здебільшого відносно розподілених великомасштабних інформаційних систем (ІС) (центрів обробки даних, об'єднаних комунікаційних мереж тощо) [1, 2]. Більшість розвинених держав самостійно робили спроби дати визначення КІ та розробити стратегію її захисту. Згідно [3] перелік життєво важливих (критичних) інфраструктур є різним для окремих держав і визначається відповідно до їх традицій, суспільних та політичних переконань, а також географічних та історичних особливостей кожної держави. Важливим компонентом КІ є її інформаційна складова (так звана КІІ), концепція захисту якої була вперше розроблена у США, а згодом – розвинена і адаптована у більшості розвинених держав світу [1-5]. Аналіз вітчизняної нормативної бази свідчить, що галузь захисту КІІ у нашій державі перебуває на початковому етапі формування. Хоча чинним законодавством України й визначено окремі об'єкти соціально-економічної сфери України, надзвичайні події на яких можуть

призвести до суспільно небезпечних наслідків, проте вони не складають єдину систему [4]. Крім того, відсутня чітко визначена понятійно-термінологічна основа у цій галузі, що, у свою чергу, значно ускладнює інтеграцію нашої держави до світового інформаційного простору.

Як показує світова практика, становлення нормативно-правової бази у галузі захисту КІ є тривалим процесом. Для відображення пріоритетної уваги політичного керівництва різних держав проблематиці цього питання достатньо навести короткий перелік основних документів [5, 6]: адміністративні накази Президента США № 13010 «Про роботу з дослідження вразливості захисту критичної інфраструктури від кібернетичних і фізичних загроз» (липень 1996 р.), № 13228 «Організація захисту США від терористичних загроз» (жовтень 2001 р.) та № 13231 «Про захист національних критичних інформаційних систем» (жовтень 2001 р.); стратегії національної безпеки США (липень 2002 р. та березень 2010 р.); Національна стратегія захисту критичної інфраструктури та основних фондів США (лютий 2003 р.); Директива Президента США з національної безпеки № 7 (грудень 2003 р.); плани захисту національної інфраструктури США (жовтень 2006 р. та жовтень 2009 р.); Політика у сфері кіберпростору США (2009 р.); Концепція критичної інфраструктури у Словацькій Республіці, її захисту та оборони (2007 р.); Національна програма захисту та оборони критичної інфраструктури Словацької Республіки (2008 р.); Програма захисту національної критичної інфраструктури Угорщини (2008 р.); Постанова Ради Міністрів Республіки Болгарія «Про порядок, спосіб та компетентні органи для визначення критичної інфраструктури та об'єктів і оцінки ризиків» (жовтень 2012 р.); Основи державної політики у сфері забезпечення безпеки населення Російської Федерації та захищеності критично важливих і потенційно небезпечних об'єктів від загроз техногенного, природного характеру й терористичних актів (вересень 2006 р.); Концепція федеральної системи моніторингу критично важливих, потенційно небезпечних об'єктів і вантажів Російської Федерації (серпень

2005 р.); Методика віднесення об'єктів державної та недержавної власності до критично важливих об'єктів для національної безпеки Російської Федерації (жовтень 2012 р.) та ін.

Аналіз зазначених документів підтвердив значний інтерес світової спільноти до захисту як КІ загалом, так і КІІ зокрема. Крім того, цей аналіз вказав на неузгодженість законодавств різних держав з питань захисту КІ, недосконалість механізмів віднесення об'єктів (оцінки їх критичності) до КІ та інші проблеми. Таким чином, кожна держава визначає власну КІ з точки зору критичності окремих секторів або важливості певних послуг для економіки, держави та безпеки її суспільства. У роботі [2, 10] проведено аналітичне дослідження нормативно-правової бази розвинених держав світу щодо різних варіацій ключових понять у галузі захисту КІІ (КІ, КІІ, захист КІ, захист КІІ). У табл. 1.1, на основі аналізу джерел [3-9], наведено різні варіації визначень КІ.

Таблиця 1.1

## Варіації дефініцій поняття КІ

№	Держава	Визначення
1	Австралія	фізичні об'єкти, ІТ, комунікаційні мережі, ланцюги постачань, які, у разі знищення, модифікації або недоступності протягом тривалого періоду часу, спричинять істотний вплив на соціальне чи економічне благополуччя нації, або вплинуть на здатність проведення національної оборони Австралії і забезпечення національної безпеки.
2	Австрія	природні ресурси, послуги, ІТ, мережі, а також інші активи, які, в разі порушення або руйнування, можуть серйозно вплинути на здоров'я, безпеку, економічний добробут громадян або ефективне функціонування уряду.
3	Бельгія	Інсталяція, система або її частина, що має значення державного масштабу, що є важливим для підтримки життєво важливих
4	Велико-британія	активи, послуги та системи, що підтримують економічне, політичне і соціальне життя Великобританії, значення яких у разі втрати може: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) викликати масштабну загибель людей;</li> <li>2) значно вплинути на національну економіку;</li> <li>3) мати інші серйозні соціальні наслідки для суспільства;</li> <li>4) бути одним із невідкладних завдань в національному уряді.</li> </ol>

## Продовження табл. 1.1

5	Ізраїль	інфраструктура, порушення функціонування якої може призвести до значних соціально-економічних потрясінь, здатних підірвати стабільність у суспільстві і тим самим призвести до реалізації загроз національній безпеці країни.
6	Іспанія	Стратегічні інфраструктури (тобто ті, які забезпечують основні послуги), функціонування яких є необхідним та не має альтернативи, порушення або руйнування матимуть серйозний вплив на основні послуги в країні.
7	Канада	фізичні та інформаційно-технічні засоби, мережі, послуги та активи, які, в разі порушення або руйнування, матимуть серйозний вплив на здоров'я, безпеку економічного добробуту канадців або ефективне функціонування уряду Канади.
8	Нідерланди	продукти, послуги та супроводжуючі процеси, які, у разі порушення або відмови, можуть викликати серйозні соціальні порушення у вигляді величезних жертв або серйозних економічних збитків.
9	Німеччина	організації та об'єкти, що мають важливе значення для суспільства, відмова або знецінення яких викличе стійкий дефіцит постачання, значні порушення громадського порядку або інші драматичні наслідки.
10	Норвегія	конструкції і системи, які необхідні для підтримки найважливіших функцій суспільства, постійна доступність яких дає суспільству почуття власної безпеки та безпеки громадськості.
11	Португалія	Компонент, система чи її частина, розташована на національному рівні, яка необхідна для підтримки життєдіяльності суспільства, здоров'я, безпеки та добробуту економічного або соціального характеру, а також порушення або знищення, матимуть суттєвий вплив на країну, якщо врахувати неможливість продовжувати виконувати ці функції.
12	Російська Федерація	об'єкти, порушення (або припинення) функціонування яких призводить до втрати управління, руйнування інфраструктури, незворотних негативних змін (або руйнування) економіки країни, суб'єкту або адміністративно-територіальної одиниці, або суттєвому погіршенню безпеки життєдіяльності населення, що мешкає на цих територіях, на тривалий період часу.
13	США	системи та об'єкти, фізичні чи віртуальні, які є настільки важливими для держави, що недієздатність або знищення таких систем або об'єктів підриває національну безпеку, економіку, здоров'я чи безпеку населення, або є поєднанням всього вищезазначеного;

Закінчення табл. 1.1

14	Хорватія	діяльність, мережі, послуги, матеріальні блага та ІТ, вихід з ладу або знищення яких значно вплинули б на здоров'я та безпеку громадян, або на діяльність державної влади.
15	Чехія	Системи та послуги, нефункціональність яких призведе до серйозного впливу на державну безпеку, її економіку, державне управління та забезпечення основних повсякденних потреб населення
16	Швейцарія	інфраструктура, порушення, відмова або руйнування якої, може істотно вплинути на здоров'я населення, громадські справи, навколишнє середовище, безпеку і соціально-економічне благополуччя.
17	Японія	інфраструктури, які формуються суб'єктами господарювання, що надають незамінні послуги, зниження ефективності або недоступність яких може мати важливе значення для соціального життя людей та економічної діяльності.

Як видно з табл. 1.1 та згідно [2] термін КІ не має сталого тлумачення і кожна держава вкладає у нього свій зміст та власну специфіку – це викликано тим, що національні потреби та проблеми є досить різними у залежності від регіону, рівня розвитку держави та інших чинників. Саме ці чинники і є основною перешкодою на шляху стандартизації (на міжнародному рівні) у галузі захисту КІ. Проте, серед різноманітності дефініцій прослідковується спільна риса КІ різних держав світу – це її ключове значення для безпеки громадян, суспільства і держави. Згідно табл. 1.1 КІ є центральним компонентом у КІ різних держав (зокрема Австралії, Австрії, Канади, США та Хорватії), що відображається у відповідних визначеннях цього поняття.

Основними причинами критичності інформаційної складової інфраструктури є широке розповсюдження ІТ у всі сфери людської діяльності, залежність від них громадян, суспільства і держави, а також збільшення уразливостей та потенційних загроз різного характеру. Відсутність поняття КІ у законодавстві деяких держав можна пояснити тим, що інформаційна складова входить до поняття інфраструктури взагалі (тобто

до КІ) і не виділяється окремою ланкою. Табл. 1.2 містить різні визначення КІІ відповідно до концепцій та політик різних держав світу [2-6].

Таблиця 1.2

## Варіації дефініцій поняття КІІ

<i>№</i>	<i>Держава</i>	<i>Визначення</i>
1	Велико-британія	активи, послуги та системи, які підтримують економічне, політичне і соціальне життя Великобританії, значення яких таке, що будь-яка часткова або повна втрата може призвести до великомасштабної загибелі людей; мати серйозний вплив на національну економіку; інші серйозні соціальні наслідки для суспільства чи значної частини спільноти, або бути одним із невідкладних завдань у національному уряді.
2	Естонія	інформаційні та комунікаційні системи, підтримка, надійність і безпека яких має важливе значення для нормального функціонування країни.
3	Індія	комп'ютерні ресурси, виведення з ладу або руйнування яких, може нанести шкоду національній безпеці, економіці та охороні здоров'я.
4	Корея	системи управління інформацією або інформаційно-комунікаційні мережі у державних і приватних установах, які, в разі скоєння у них кіберзлочинів, можуть серйозно вплинути на національну безпеку, повсякденне життя громадян, національну економічну стабільність.
5	Малайзія	сукупність активів (реальних і віртуальних), систем і функцій, які мають життєво важливе значення для нації, недієздатність або знищення яких буде мати серйозний вплив на: національну економіку, імідж, оборону і безпеку, можливість виконання урядом своїх функцій, а також суспільну охорону здоров'я і безпеку.
6	Нідерланди	ІС (програмне забезпечення, апаратні засоби і дані), які підтримують один або кілька найважливіших об'єктів інфраструктури, порушення роботи або відключення яких наносить серйозну шкоду функціонуванню залежної КІ.
7	Російська Федерація	сукупність АС управління критично важливими об'єктами, що забезпечують взаємодію інформаційно-телекомунікаційних мереж, призначених для вирішення завдань державного управління, забезпечення обороноздатності, безпеки та правопорядку, порушення (або припинення) функціонування яких може стати причиною настання тяжких наслідків.

Провівши аналіз (див. табл. 1.2), слід відзначити, що в трактуванні терміну КІІ в різних державах з'являється чітка аналогія. Так, наприклад,



Австралія, Канада, Нідерланди, Великобританія і США згідно [3] прийняли спільну точку зору, описуючи КІІ як «ІС (програмне забезпечення, апаратні засоби і дані) і послуги, які підтримують одну або кілька найважливіших об'єктів інфраструктури, порушення роботи або відключення яких наносить серйозну шкоду функціонуванню залежної КІ». Крім того, в деяких державах (наприклад Малайзії) особливий акцент ставиться на значення КІ для нації, навіть саме визначення КІІ вживається як критична національна інформаційна інфраструктура.

З огляду на те, що у кожному із зазначених визначень особлива увага приділяється питанню національної безпеки, запроваджується новий важливий напрям політики - захист КІ держави. Якщо, знову ж таки, звернутися до досвіду деяких держав можна розглянути термін «*захист КІ*» детальніше:

– всі зусилля, спрямовані на забезпечення функціональності, безперервності та цілісності критично важливих об'єктів інфраструктури в цілях запобігання загрозам, ризикам і уразливості, а також нейтралізації їх наслідків і швидкого оновлення інфраструктури у випадку відмов, атак та інших випадків, що порушують її належне функціонування (законодавство Польщі) [5];

– концепція, яка має відношення до готовності та реагування на серйозні інциденти, які пов'язані з КІ регіону або нації (словник Wikipedia) [11];

– захист комунікаційних чи інформаційних послуг, доступність, надійність і стійкість яких мають важливе значення для функціонування сучасної (національної) економіки, безпеки та інших важливих соціальних цінностей (законодавство США) [12];

– можливість підготовки до захисту, пом'якшення впливу, реагування і відновлення КІ в разі виникнення перебоїв або знищення (законодавство ЄС) [13].

Так, усі зазначені держави, сформулювали політику (концепцію) і розробили практичні рекомендації для захисту об'єктів КІ, приділяючи особливу увагу ІС та мережам. З огляду на це, варто виокремити поняття «*захист КІІ*», під яким, відповідно до [13], необхідно розуміти «програми та заходи інфраструктур, власники, оператори, виробники, користувачі і

регулюючі органи, яких спрямовані на збереження виконання функцій найважливіших інформаційних інфраструктур у випадку аварій, нападів або нещасних випадків, що перевищують установлений мінімальний рівень послуг і спрямовані на мінімізацію часу відновлення і пошкодження».

У законодавстві України до 2016 року були відсутні поняття пов'язані з КІ, КІІ та їх захистом. Хоча термін «КІ» неодноразово використовувався в нормативно-правових документах, проте його визначення було відсутнє в жодному законодавстві. Вперше в офіційних документах термін «КІ» з'явився у 2006 р. у тексті Рекомендацій парламентських слухань з питання розвитку інформаційного суспільства. Потім у 2012 р. та 2015 р. у Стратегіях національної безпеки України, термін «КІ» використовується більш деталізовано, виокремлюються загрози КІ та згадуються вразливості об'єктам КІ державних інформаційних ресурсів. [14].

У серпні 2016р. КМУ постановив затвердити Порядок формування переліку ІТС об'єктів КІ держави (№ 563 від 23.08.2016) відповідно до якого під терміном «КІ» слід розуміти: сукупність об'єктів інфраструктури держави, які є найбільш важливими для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення і виведення з ладу або руйнування яких може мати вплив на національну безпеку і оборону, природне середовище, призвести до значних фінансових збитків та людських жертв; а «об'єкти КІ» - підприємства та установи (незалежно від форми власності) таких галузей, як енергетика, хімічна промисловість, транспорт, банки та фінанси, інформаційні технології та телекомунікації (електронні комунікації), продовольство, охорона здоров'я, комунальне господарство, що є стратегічно важливими для функціонування економіки і безпеки держави, суспільства та населення [15]. Також слід зауважити, що в законодавстві досі відсутній вичерпний перелік об'єктів КІІ держави, а вказані лиш об'єкти окремих галузей [4, 14], що потребують захисту з боку держави: підприємства, які мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави [16]; особливо важливі об'єкти електроенергетики [17]; особливо

важливі об'єкти нафтогазової галузі [18]; важливі державні об'єкти, у тому числі пункти управління органів державної влади та органів місцевого самоврядування [19]; об'єкти можливих терористичних посягань [20]; об'єкти, які підлягають охороні і обороні в умовах надзвичайних ситуацій і в особливий період [21]; об'єкти, що підлягають обов'язковій охороні підрозділами Державної служби охорони за договорами [22]; об'єкти підвищеної небезпеки [23] (в т.ч. Перелік особливо небезпечних підприємств, припинення діяльності яких потребує проведення спеціальних заходів щодо запобігання заподіяння шкоди життю та здоров'ю громадян, майну, спорудам, навколишньому природному середовищу [24]; об'єкти, які включені до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів [25]; радіаційно небезпечні об'єкти, для яких розробляється об'єктова проектна загроза [26]; об'єкти, які віднесені до категорій з цивільного захисту [27]; об'єкти, що належать суб'єктам господарювання, проектування яких здійснюється з урахуванням вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту [28]; чергово-диспетчерська система екстреної допомоги населенню за єдиним безкоштовним телефонним номером виклику екстрених служб 112 [29]; аварійно-рятувальні служби; Національна система конфіденційного зв'язку [30]; платіжні системи [31]; нерухомі об'єкти культурної спадщини [32].

У жовтні 2017 ВР України було підписано Закон «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [33], де з'являються такі визначення: «*КІІ*» - сукупність об'єктів КІІ; «*критично важливі об'єкти інфраструктури*» - підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, діяльність яких безпосередньо пов'язана з технологічними процесами та/або наданням послуг, що мають велике значення для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення, виведення з ладу або порушення функціонування яких може справити негативний вплив на стан національної безпеки і оборони України, навколишнього природного середовища, заподіяти майнову шкоду та/або становити загрозу для життя і здоров'я людей; «*об'єкт КІІ*» - комунікаційна

або технологічна система об'єкта КІ, кібератака на яку безпосередньо вплине на стає функціонування такого об'єкта КІ.

У роботі [14] вперше в Україні запропоновано визначення поняття «захист КІ України» під яким слід розуміти: комплекс заходів, реалізований в нормативно-правових, організаційних, технологічних інструментах, спрямованих на забезпечення безпеки та стійкості КІ.

Не зважаючи на те, що 6 грудня 2017 р. КМУ схвалив Концепцію створення державної системи захисту КІ [34] в законодавстві України досі відсутні поняття «захисту КІ» та «захисту КІІ». Серед основних вітчизняних вчених, які займались питаннями захисту КІІ держави слід відмітити: роботи Д. Бірюкова [5, 35] та О. Довганя [4], які присвячені основним проблемам та перспективам впровадження системи захисту КІ України; роботи Д. Бобро [36-38], що орієнтовані на визначення кіберзагроз КІ та способів оцінки рівня критичності об'єктів інфраструктури. Також варто виділити праці А. Кондратьєва [39], Х. Алькараса [40-41], М. Мерабті [42-43], В. Харченка [44-45], пов'язані з аналізом сучасних тенденцій дослідження КІ, а саме стратегій, технологій, моделей та методів, які використовуються для виявлення найбільш важливих об'єктів КІ в нашій державі та інших зарубіжних країнах.

Низка робіт присвячена системам забезпечення безпеки КІ у галузі ІКТ, а саме: системі виявлення аномалій в мережевих критичних інфраструктурах С. Сетярліс [46-47], системам виявлення вторгнень до КІІ, що використовує технології бездротових сенсорних мереж Л. Романо [48], системі захисту конфіденційності даних КІ у сценарії розумного міста І. Фовіно [49-50]. Окремо слід виділити роботи Д. Грітсаліза [51-52], який займався питаннями забезпеченням КБ критично важливих об'єктів транспортної галузі та праці Т. Єлісеєвої [53] присвячені аналізу видів наслідків критичності відмов технічних систем на етапі проектування.

Проте переважна більшість проаналізованих робіт не є системними – вони орієнтовані на опис загальних підходів до побудови системи захисту КІ, або розробку й застосування превентивних та контрзаходів для захисту

окремих об'єктів КІ чи певної галузі КІ. Аналіз джерел [6, 35, 54-55], які присвячені проблемам захисту КІ, вказав на неузгодженість законодавств різних держав, відсутність чітко визначеного переліку відповідних об'єктів, недосконалість механізмів віднесення об'єктів до критичних (головний чинник гальмування розвитку стратегій захисту інфраструктур) тощо.

В табл. 1.3. відображені порівняння підходів до захисту КІ держави за такими критеріями: *ID* – ідентифікація; *CR* – критичність (важливість); *TA* – оцінювання загроз; *VA* – оцінювання уразливостей; *PM* – методи захисту; *SE* – оцінювання КБ; *DD* – термінологічна база.

Таблиця 1.3

## Аналіз відомих підходів до захисту КІ держави

Критерій	ID	CR	TA	VA	PM	SE	DD
Дослідник							
Алькарас Х.	-	-	-	+	+	-	-
Бірюков Д.	-	-	-	-	+	-	+
Бобро Д.	-	+	-	-	-	+	-
Грітсализ Д.	-	-	+	-	+	+	-
Довгань О.	+	-	-	-	-	-	+
Єлісеєва Т.	-	+	-	-	-	-	-
Кондратьєв А.	+	-	-	-	-	+	-
Мерабті М.	-	-	+	-	+	-	-
Романо Л.	-	-	+	-	+	-	-
Сятерліс Х.	-	-	-	-	+	-	-
Фовіно І.	-	-	+	+	+	-	-
Харченко В.	-	+	-	-	+	-	-

Там чиним, слід зазначити, що у підходах до захисту КІ держави (табл.1.3) мало уваги приділяється механізмам формування переліку КІ держави (ідентифікації, визначенню критичності, оцінюванню загроз та уразливостей), а також оцінюванню поточного стану кібербезпеки (КБ); для визначення рівня критичності використовуються відомі методи й методики (згідно міжнародних стандартів та рекомендованих практик), які не є формалізованими – це ускладнює їх застосування на загальнодержавному рівні.

## 1.2. Цивільна авіація як галузь КІ України

Кожна держава визначає власну КІ з точки зору критичності окремих секторів (галузей) або важливості певних послуг для економіки, держави та безпеки її суспільства [56]. Переліки секторів, які відносять до КІ різних держав, відрізняються насамперед, національною специфікою, традиціями і особливостями безпекової політики тієї чи іншої держави або міжнародної структури. Відповідно до [14] орієнтовний перелік секторів КІ: 1. Паливно-енергетичний комплекс; 2. Транспорт; 3. Мережі життєзабезпечення; 4. Телекомунікації та зв'язок; 5. Фінансово-банківський сектор; 6. Органи влади та правопорядку; 7. Сектор безпеки і оборони; 8. Хімічна промисловість; 9. Служби екстреної допомоги та цивільного захисту; 10. Харчова промисловість та агропромисловий комплекс.

Спираючись на міжнародний досвід визначимо галузі КІ провідних держав світу згідно [57]), зведені дані по яким відображені в табл. 1.4, *де держави позначені: AU – Австрійська Республіка; BE – Королівство Бельгія; CZ – Чеська Республіка; DK – Королівство Данія; EE – Естонська Республіка; FI – Фінляндська Республіка; FR – Французька Республіка; DE – Федеративна Республіка Німеччини; LW – Латвійська Республіка; HU – Угорщина; IT – Італійська Республіка; MT – Республіка Мальта; NL – Нідерланди; PL – Польська Республіка; SK – Республіка Словаччина; ES – Королівство Іспанія; UK – Сполучене королівство Англії; CH – Швейцарська Конфедерація; SI – Республіка Словенія; SE – Королівство Швеція; EU – Європейський союз; USA – Сполучені штати Америки; AU – Австралійський союз; CA – Канада; JP – Японія; TR – Турецька Республіка; RU – Російська Федерація; UA – Україна, а додаткові галузі позначені: AC – Аварійні служби; PR – Промисловість; ЗМК – Засоби масової інформації та культура; ПШ – Пошта; ЗНС – Захист навколишнього середовища; ТР – Торгівля; СЦ – Соціальний захист; ІБ – Інформаційна безпека; СдВ – Стійкість до відмов; Б – безпека; ПЛНС – Попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій; ГНС –*

Географічні та навігаційні системи; ССМС – Сфера стандартизації, метрології та сертифікації; ГД – Гідрометеорологічна діяльність.

Таблиця 1.4

## Зведені дані щодо секторів КІ

	AU	BE	CZ	DK	EE	FI	FR	DE	LV	HU	IT	MT	NL	PL	SK	ES	UK	CH	SI	SE	EU	USA	AU	CA	JP	TR	RU	UA
Енергетика																												
Інформаційні, телекому-нікаційні технології																												
Водопостачання																												
Продовольство																												
Здоров'я																												
Фінанси																												
Суспільний та правовий порядок та безпека																												
Цивільна адміністрація																												
Транспорт																												
Хімічна та ядерна промисловість																												
Космос та дослідження																												
Інші																												

Згідно табл. 1.4 до найбільш розповсюджених секторів КІ відносяться: енергетика (29 держав); транспорт (29 держав); інформаційні, телекомунікаційні технології (27 держав); системи водопостачання та фінансовий сектор (24 держави).

В Україні транспортна галузь також виділяється в якості важливого напрямку національної безпеки поряд з економічною, соціальною, політичною, військовою, інформаційною та екологічно-техногенною галузями [58]. За результатами проведеного аналізу, та згідно [57] були визначені наступні галузі КІ України (рис. 1.1). В свою чергу транспортна галузь з урахуванням різноманітної специфіки та видів транспорту поділяється на підгалузі:

авіаційного транспорту, залізничного транспорту, морського та річкового транспорту, автомобільного транспорту, трубопровідного транспорту та мультимодально-логістичного транспорту.



Рис. 1.1 Галузі КІ України



Очевидно, що несанкціоноване втручання у роботу авіаційного транспорту може призвести до значних економічних збитків, людських жертв, руйнування загальнодержавної інфраструктури, а також спричинити транспортний колапс у масштабах всієї держави. Отже забезпечення захисту авіаційних систем є загальнообов'язковим для кожної держави, яка є і хоче залишатись частиною міжнародної авіаційної спільноти. Особливого захисту потребує цивільна авіація (ЦА), де відповідно до керівних документів (зокрема [59-61]), необхідно ідентифікувати і захищати критичні авіаційні інформаційні системи (КАІС), що мають важливе (критичне) значення для безпечного здійснення польотів та безпечної діяльності ЦА загалом. Проте, необмежена кількість об'єктів і параметрів систем, які постійно варіюються, та важко прогнозована поведінка об'єктів з великою кількістю взаємозв'язків є основними причинами труднощів виявлення об'єктів КІ держави (зокрема в авіаційній галузі).

### 1.3. Аналіз підходів до ідентифікації об'єктів КІ

КІ будь-якої держави – це велика складна система стратегічного масштабу, яка є сукупністю значної кількості елементів різного типу, об'єднаних зв'язками різної природи і яка володіє загальною властивістю (призначенням, функцією), відмінною від властивостей окремих елементів усієї сукупності [62-63]. Встановлено, що для забезпечення захисту найбільш важливих об'єктів КІ необхідно, перш за все, ідентифікувати ці об'єкти за певними критеріями чи критичними параметрами (рис. 1.2, п.1).

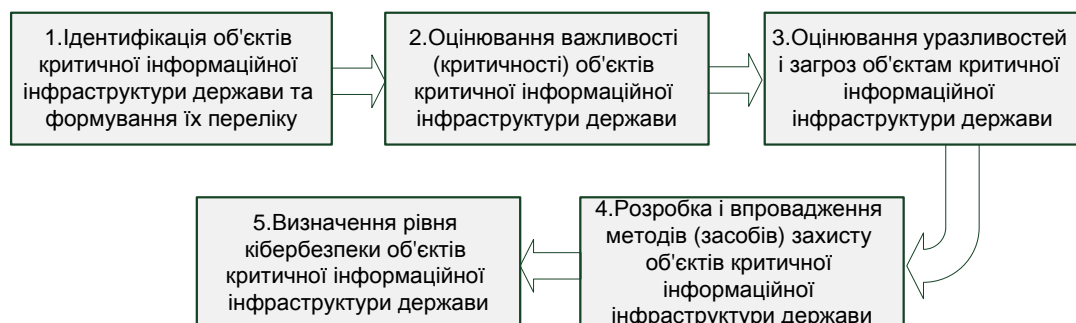


Рис. 1.2. Узагальнена схема етапів захисту КІ держави

Аналіз критеріїв за якими можливо виділити чи ідентифікувати об'єкти КІ був проведений у [64-67]. Встановлено, що одні з перших критеріїв ідентифікації КІ були вказані в Директиві ЄС [68]. Відповідно до якої, кожна держава повинна ідентифікувати потенційні КІ, які відповідають вимогам двох основних груп критеріїв – міжгалузевих і галузевих. Міжгалузеві критерії повинні включати в себе: 1) критерії втрати (оцінюються з точки зору потенційного числа загиблих або травмованих); 2) критерії економічних наслідків (оцінюються з точки зору значущості економічних втрат та / або деградації продуктів і послуг, включаючи потенційні екологічні наслідки); 3) критерії впливу на громадськість (оцінюються з точки зору впливу на суспільну довіру, фізичні страждання і порушення повсякденного життя, включаючи втрату важливих послуг). Галузеві критерії повинні враховувати характеристики окремих секторів КІ. Вони визначають характерні риси або функції об'єктів, включених до об'єктів КІ.

У США, згідно [55], прийнято поділяти КІ на ті, що пов'язані з міжнародними організаціями (об'єкти енергетики, транспорт, банківсько-фінансова система, телекомунікації) і ті, які з ними не пов'язані (наприклад, водопостачання, служби порятунку, державне управління). За ступенем важливості усі об'єкти КІ поділяються на три категорії: *життєво важливі* (АЕС, ГЕС, гідротехнічні споруди, об'єкти зберігання стратегічних запасів нафти і газу, шкідливі хімічні та нафтохімічні виробництва, склади зберігання ядерних матеріалів і боєприпасів); *вкрай важливі* (системи енергозабезпечення, метрополітен, лінії водопостачання, підземні каналізаційні системи, магістральні трубопроводи) та *важливі* (морські порти, очисні споруди, магістральні споруди, великі аеропорти та центри зв'язку) [64]. Для порівняння згідно [6] критерії для визначення критично важливих об'єктів групуються за трьома показниками: критерії значущості об'єкта для економіки держави, критерії пов'язані з нанесенням шкоди престижу держави, можливі загрози населенню і територіям.

Відповідно до [65-66], об'єкти КІ поділяються за категоріями наслідків на різні напрями та сектори: економіка, фінанси, навколишнє середовище, здоров'я і безпека, технологічне середовище, тривалість впливу. Також критичність може бути описана трьома загальними характеристиками [54]: критична частка, критичний час та критична якість.

При визначенні елементів КІ будується ієрархія критеріїв, яка охоплює такі основні групи [35]: економічна безпека; безпека життєдіяльності та здоров'я населення; державна безпека та оборона; національна самоповага та імідж держави. Процес визначення елементів КІ включає оцінювання ризиків для об'єктів, спричинених чинниками різного походження (техногенного, природного та соціально-політичного характеру), а також аналіз взаємозалежностей між цими елементами.

Критерії визначення потенційних елементів КІ відповідно до [5-6, 67, 69] враховують такі чинники та характеристики для певних держав. ЄС (Директива Європейської Комісії): 1) Масштаб (географічне охоплення території, для якої втрата елементу КІ завдає значної шкоди); 2) Важкість можливих наслідків за такими показниками: вплив на населення; економічна шкода; екологічна шкода; взаємозв'язок з іншими елементами КІ; політичний ефект; тривалість впливу. *Російська Федерація*: критерії значущості об'єкта для економіки держави; критерії пов'язані з нанесенням шкоди престижу держави; можливі загрози населенню і територіям. *Ізраїль*: символічна значимість об'єктів; залежність ключових процесів життєзабезпечення суспільства від тої чи іншої інфраструктури; наявність складних взаємозв'язків та залежностей між інфраструктурами.

Критичність може бути ідентифікована, наприклад, з огляду на елементи інфраструктури або вузлів, потік продукції і товарів, потреби клієнтів, можливості пошуково-рятувальних організацій і ресурсів або для дій спрямованих на пом'якшення чи усунення негативних ситуацій, які виникли. Але загальних критеріїв для ідентифікації КІ в світі так і не розроблено. Більшість провідних держав опублікували стратегію, яка, як

правило, є вагомим етапом процесу ідентифікації КІ, наприклад Канада (Robert et al. 2003), Нідерланди (Vrijling et al. 2004), Швейцарія (Swiss Federal Office for Civil Protection 2009), Сполучене Королівство (UKCO 2010), Сполучені Штати Америки (Motteff 2007), ЄС для всіх європейських країн (ЄС 2008), Австралія (Australian Government 2010) і Німеччина (Federal Ministry of the Interior of Germany 2009) [54]. Проте, критерії віднесення об'єктів в них зазвичай використовують у контексті: визначень оцінок впливу, ступеня соціальної уразливості, оцінки економічних збитків, здатності і стійкості функціонування, а також інших параметрів загального ризику типу ймовірності та можливого ступеню пошкодження тощо [54].

В Україні єдиним переліком критеріїв, які можуть бути використані для ідентифікації об'єктів КІ є затверджений у [15] перелік негативних наслідків, до яких може призвести кібератака на інформаційно-телекомунікаційну систему (ІТС), до яких належить: 1) виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та/або негативний вплив на стан екологічної безпеки держави (регіону); 2) негативний вплив на стан енергетичної безпеки держави; 3) негативний вплив на стан економічної безпеки держави; 4) негативний вплив на стан обороноздатності, забезпечення національної безпеки та правопорядку у державі; 5) негативний вплив на систему управління державою; 6) негативний вплив на суспільно-політичну ситуацію в державі; 7) негативний вплив на імідж держави; 8) порушення сталого функціонування фінансової системи держави; 9) порушення сталого функціонування транспортної інфраструктури держави; 10) порушення сталого функціонування інформаційної та/або телекомунікаційної інфраструктури держави, в тому числі її взаємодії з відповідними інфраструктурами інших держав. Отже існує необхідність розробки власних критеріїв визначення тяжкості наслідків виходу з ладу об'єкта КІ.

Що стосується підходів до ідентифікації КІ, з огляду на роботи [39, 70-72], на сьогодні в розвинених державах відомо незначну кількість методів і моделей, що можуть забезпечити керівникам відповідних ланок управління

можливість приймати обґрунтоване і правильне рішення щодо захисту КІ. Проте, не дослідженим і відкритим залишається питання доцільності й ефективності застосування цих методів для виявлення саме об'єктів КІ. Щоб знайти і сформулювати універсальний, чітко формалізований підхід, що буде мати застосування в різних галузях, у роботі [73] проведено багатокритеріальний аналіз підходів до виявлення та ідентифікації критично важливих об'єктів КІ. Опишемо детально кожен з підходів до ідентифікації об'єктів КІ згідно [73-76].

1. *Теорія К. Клаузевіца для мережесевих архітектур.* Основна ідея цієї теорії полягає у пошуку «центральної точки» системи, де сконцентровані його ключові сили і потужності [39].

2. *Теорія самоорганізуючих мереж А. Барабаши.* Суть теорії згідно [39, 77] полягає в тому, що будь-яка неструктурована (пуассонівська) мережа під впливом набору загальновідомих правил і законів, в першу чергу економічного і соціального характеру, через певний час (після деякого числа ітерацій) приймає відповідну структуру, без будь-якого зовнішнього впливу, організовуючись навколо найбільш цінних або важливих вузлів.

3. *Теорія графів.* Суть теорії полягає в тому, що КІ може бути представлена у вигляді зваженого орієнтованого графа, вершини якого – об'єкти, а ребра – зв'язки між ними. Наприклад, у роботі [78] розглянуто мережу представлену у вигляді графу, яка складається з 10 вершин і 13 ліній зв'язності (рис. 1.3), де відомі напрямки потоків інформації (рис. 1.4).



Рис. 1.3. Представлення мережі у вигляді графу

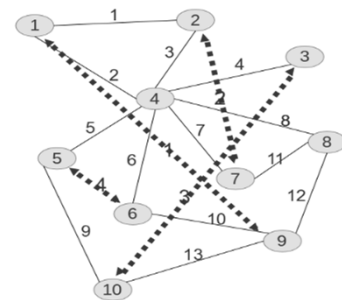


Рис. 1.4. Напрямки потоків інформації в мережі

Необхідно визначити за графом основні і резервні маршрути передачі інформації за кожним з інформаційних напрямків (рис. 1.5), де основний

маршрут – прямий шлях графом системи зв'язку між абонентами, а резервний маршрут – обхідний шлях графом з найменшим числом посередників.

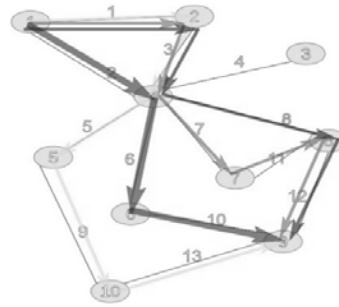


Рис. 1.5. Основні і резервні маршрути передачі інформації

Після цього, до кожного з інформаційних сегментів застосовується критерій належності до критично важливих, який полягає в тому, що вихід з ладу конкретного інформаційного сегмента може призвести до відсутності зв'язності за забезпечуваням ним основним інформаційним напрямком, то він вважається критично важливим інформаційним сегментом аналізованої мережі. У цьому випадку застосування критерію належності показало, що вершина 4 є найбільш критичним сегментом мережі, і при виході її з ладу майже всі інформаційні напрямки понесуть втрати, навіть практично незалежному інформаційному напрямку 4 необхідно буде збільшити плече доставки інформації в 2 рази.

4. *Модель пріоритетності активів.* Суть підходу полягає в розрахунку індексу ризикованості об'єкта, що залежить від рейтингу об'єкта за шкалою категорії чинників та значущості цього чинника [39].

5. *Ідентифікація об'єктів КІ на основі категоріювання.* Суть підходу полягає в ідентифікації небезпечних об'єктів інфраструктури за допомогою порівняння значення інтегрального критерію зі значенням «неприпустимої шкоди»  $K_n : K_{int} = K_l + K_{екон} + K_{бал} + K_{екол}$ , де  $K_l$  – фінансовий збиток, який визначається чисельністю загиблих і постраждалих людей, в разі реалізації атаки на об'єкт,  $K_{екон}$  – фінансовий збиток в результаті виведення з ладу найбільш вразливих елементів об'єкта,  $K_{бал}$  – балансова вартість споруди (або вартість відновлення),  $K_{екол}$  – вартісне вираження очікуваного екологічного збитку в разі реалізації терористичної атаки на об'єкт. А «неприпустимий

збиток» ( $K_n$ ), це нижній рівень збитку, після досягнення якого об'єкт повинен бути віднесений до розряду небезпечних [79]. Процес ідентифікації закінчується складанням переліку небезпечних об'єктів, для яких виконується умова  $K_{int} \geq K_n$  після чого вони підлягають подальшому категоріюванню.

*б. Імітаційне моделювання.* Імітаційне моделювання засноване на програмному відтворенні розгорнутого в часі процесу функціонування системи стає реальним інструментом для розуміння і повноцінного дослідження КІ. Метою імітаційного моделювання згідно [79-80] є створення імітаційної моделі об'єктів КІ і проведення імітаційного експерименту над ними.

*б.1. Система моделювання КІ.* Система Critical Infrastructure Interdependency Modeling (CIMS) [81] є дискретним моделюванням подій, що моделює та імітує інфраструктури і взаємозалежності, які існують між ними на рівні, відповідному ситуації. Система CIMS була розроблена для вивчення взаємозв'язку між мережами інфраструктури, а точніше мінливості поведінки системи, яка проявляється коли один або декілька вузлів в системі вийшли з ладу. Також, система забезпечує високу наочне та інтерактивне середовище для спостереження каскадних ефектів і наслідків впливу на інфраструктуру.

*б.2. Імітаційна модель «Афіна».* Модель «Афіна» – програмний інструмент, розроблений для аналізу великих систем (включаючи політичний, військовий, економічний та інформаційний сектори), а також для виявлення взаємозалежностей і взаємопов'язаних елементів [39].

#### *Аналіз підходів за базовими критеріями*

Таким чином, сьогодні відомо достатню кількість підходів до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів КІ, проте для оцінки доцільності й ефективності їх застосування для виявлення саме об'єктів КІ необхідно їх проаналізувати за такими базовими критеріями (табл. 1.5): *1) ясність формалізації* (чіткість і зрозумілість математичних розрахунків); *2) простота реалізації* (відсутність надскладних процедур); *3) гнучкість та універсальність* (можливість зміни певних параметрів за необхідності і застосування у різних галузях діяльності людини); *4) точність* (високий ступінь наближення

істинного значення певного параметра); 5) *оперативність* (здатність коректно і швидко виконувати розрахунки); 6) *інформаційна складова* (врахування особливостей побудови ІС та мереж, архітектури кіберпростору [82]); 7) *об'єктивність* (можливість незалежного оцінювання).

Таблиця 1.5

## Аналіз підходів до виявлення та ідентифікації об'єктів КІІ

№ з/п	Назва підходу	Базові критерії						
		1	2	3	4	5	6	7
1.	Теорія К. Клаузевіца для мережевих архітектур	+	-	-	-	-	-	-
2.	Теорія самоорганізуючих мереж А. Барабаши	+	+	-	+	-	-	-
3.	Теорія графів	+	-	+	+	-	-	+
4.	Модель пріоритетності активів	-	+	-	-	-	-	-
5.	Ідентифікація на основі категоріювання	+	-	+	+	-	-	-
6.1	Система моделювання КІ	+	-	+	+	+	-	+
6.2	Імітаційна модель «Афіна»	+	-	+	+	+	-	+

Багатокритеріальний аналіз зазначених підходів згідно табл. 1.5 та [73], показав, що найбільш вдалим (з точки зору застосування для КІІ) є підходи, що базуються на теорії графів та імітаційному моделюванні (система моделювання КІ та імітаційна модель «Афіна»), які як і багато інших підходів базуються на теорії графів. Крім того, широко використовуються знання теорії самоорганізованих мереж математика А. Барабаши та ідентифікація об'єктів КІ на основі категоріювання – деякі аспекти цих підходів теж можуть бути використані для об'єктів КІІ.

#### 1.4. Аналіз підходів до визначення рівня важливості КІІ

Згідно узагальненої схеми етапів захисту КІІ держави (рис. 1.2, п. 2) після ідентифікації об'єктів КІІ держави необхідно оцінити важливість (критичність) зазначених об'єктів. З огляду на це, в роботах [83-85] був проведений аналіз методів розрахунку рівня важливості (критичності) інформаційних систем. Після чого у [83] був виділений перелік методів оцінки критичності ІС, до яких, з урахуванням [45,83,86-88], віднесені такі:



1. *Аналіз причин і наслідків (СЕТА)*. Аналіз «дерева причин-наслідків» починається з вибору критичної події. Критичні події вибирають таким чином, щоб вони служили зручними відправними точками для аналізу. Типовими критичними подіями, які ведуть до аварійних ситуацій, можуть бути, наприклад, відхилення основних параметрів технологічного процесу.

2. *Попередній аналіз небезпек (РНА)*. Попередній аналіз небезпек є простим індуктивним методом аналізу з метою ідентифікації небезпек, критичних ситуацій і подій, які можуть завдати шкоди діяльності, обладнанню або системам організації.

3. *Аналіз небезпеки і працездатності (HAZOP)*. Процес ідентифікації потенційних небезпек, спрямований на виявлення можливих слабких місць або відхилень виконання робіт. Якщо його застосовують до управління безпекою критичних видів устаткування і комп'ютерних систем, то метод позначають CHAZOP. При цьому також оцінюють критичність виявлених відхилень.

4. *Аналіз небезпеки та критичних контрольних точок (НАССР)*. Метод аналізу небезпеки і критичних контрольних точок дозволяє побудувати структуру ідентифікації небезпек і перевірки засобів управління у всіх частинах процесу. Цей метод спрямований на забезпечення якості продукції, надійності і безпеки процесів, на основі застосування моніторингу та вимірювань специфічних характеристик, які повинні знаходитися у встановлених межах (критичні контрольні точки).

5. *Аналіз впливу на бізнес (ВІА)*. Метод аналізу впливу на бізнес (ВІА), також відомий як оцінка впливу на бізнес, дозволяє досліджувати, як критичні види відмов/порушень/руйнувань, що можуть вплинути на ключові види діяльності і процеси організації, а також ідентифікувати і кількісно визначити необхідні можливості для управління організацією в цих умовах.

6. *Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA)*. Аналіз критичності видів і наслідків відмов (*Failure Mode, Effects and Critical Analysis, FMECA*). FMEA є методом ідентифікації видів і процесів розвитку відмови та його наслідків. Існує кілька типів FMEA: FMEA проекту (або продукції) і їх компонентів,

FMEA систем, FMEA процесу (для виробничих і складальних процесів), FMEA технічного обслуговування і FMEA програмного забезпечення. FMEA може супроводжуватися аналізом критичності кожного виду відмови, що оцінюється по якісній, кількісній або змішаній шкалі (FMESA). FMESA метод може бути застосований для оцінки ймовірності того, що досліджуваний вид відмови призведе до відмови системи або рівню ризику, який відповідає даному виду відмови, або переважному ризику.

7. *Аналіз дерева несправностей (FTA)*. Метод, відповідно до якого ідентифікують відмови системи (головна подія) і потім визначають шляхи його виникнення. Ці шляхи зображують графічно у вигляді логічної деревовидної діаграми. За допомогою дерева несправностей досліджують способи зниження або усунення потенційних причин/джерел несправності. Часто FTA використовують разом з FMEA, коли остання недостатньо ефективна при виявленні складних дефектів.

8. *Аналіз дерева подій (ETA)*. Метод, відповідно до якого для оцінки ймовірності реалізації подій і їх переходу в інші події використовують індуктивні висновки. Часто ETA використовують разом з FMEA.

9. *Метод CORAS*. Комп'ютеризований інструмент, який підтримує документування, створення звітів про результати аналізу шляхом моделювання ризику. Суть методології CORAS полягає в адаптації, уточненні і комбінуванні таких методів проведення аналізу ризиків, як ETA, ланцюги Маркова, HAZOP і FMESA. Метод CORAS використовується для документування проміжних результатів і представлення повних висновків про аналіз ризиків ІБ, з використанням спеціальних діаграм CORAS, які вбудовані в UML.

10. *Метод OCTAVE*. Метод оперативної оцінки критичних загроз, активів і уразливостей. Методика передбачає створення групи аналізу, яка вивчає безпеку і складається з трьох етапів. Основними результатами роботи OCTAVE є: ідентифікація критичних інформаційних активів; ідентифікація загроз для критичних інформаційних активів; визначення уразливостей,

асоційованих з критичними інформаційними активами; оцінка ризиків, пов'язаних з критичними інформаційними активами.

У табл. 1.6, згідно [89, 101], наведений аналіз методів розрахунку критичності ІС 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*.

Таблиця 1.6

## Аналіз методів визначення рівня важливості об'єктів КІІ

Назва методу	Базові критерії						
	DetDi	AWCDi	PEi	DRi	M/EEi	IA	RA
СЕТА	-	+	-	+	-	-	-
РНА	+	+	-	-	-	-	-
CORAS	-	+	+	-	-	-	+
HAZOP	+	-	+	+	-	-	-
ЕТА	+	-	+	-	-	-	-
FTA	+	+	-	-	+	-	-
OCTAVE	+	-	-	-	-	+	+
НАССР	+	+	-	-	-	+	-
FMEA/ FMESA	+	+	+	+	-	+	+
BIA	-	-	+	-	-	+	-

Як видно з аналізу (табл. 1.6), для розрахунку критичності є досить широкий набір прийнятних методів. Вибір методів розрахунку критичності залежить від конкретних обставин: масштабу і складу ІС, інформації, що обробляється в даній системі, складу і використовуваних засобів безпеки, наявності кваліфікованих експертів тощо. Ключовим серед них, є метод аналізу виду, наслідків та критичності відмови FMESA. У цьому методі кожен вид відмови ранжується з урахуванням двох складових критичності – ймовірності (або частоти) і тяжкості наслідків відмови. Результати аналізу представляються у вигляді таблиць з переліком обладнання, видом і причинами можливих відмов, частотою, наслідками, критичністю, засобами виявлення несправності і

рекомендаціями щодо зменшення небезпеки [86, 90-91]. У результаті використання методу рекомендуються показники (індекси) рівня 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 іверсального методу визначення рівня важливості об'єктів КІ держави.

### **1.5. Підходи до оцінювання рівня КБ**

В умовах глобального поширення ІКТ у світі та щорічного збільшення кількості користувачів, складним завданням стає контроль та забезпечення КБ всіх об'єктів, що функціонують в межах певної галузі КІ держави. З кожним роком збільшується питома вага завчасно спланованих, чітко виконуваних атак в кіберпросторі (КБІ) – це так звані АРТ-атаки (цільові кібератаки). Для того, щоб забезпечити необхідний захист критичних об'єктів необхідно постійно підтримувати та покращувати системи комплексного захисту даних шляхом впровадження нових технологій захисту. Досить складним питанням є визначення необхідного рівня захисту, відповідно до якого ціна системи безпеки не буде вищою ніж корисність інформації, яку необхідно захищати. Вирішити дану проблему відповідно до [92] можна, наприклад, за допомогою оцінювання необхідного рівня КБ для певних об'єктів КІ. Проте, зазначена процедура реалізується після ідентифікації об'єктів за певними критеріями, оцінювання їх критичності (важливості), визначення загроз і уразливостей (рис. 1.2).

У 2016 році Міжнародний союз електрозв'язку (ІТУ) провів комплексне дослідження рівня КБ 143 держав світу та у 2017 році оприлюднив основні результати аналізу в доповіді, згідно якої у [93] запропоновано метод оцінки захищеності держави в КБІ за п'ятьма напрямками, а саме: юридичному, технічному, організаційному, потенційному та кооперативному. Загальна кількість показників дорівнює двадцяти п'яти, середнє арифметичне яких і буде становити Global Cybersecurity Index (Глобальний індекс кібербезпеки – ГІК). Опитування складалось з 157 питань, відповіді на які представники кожної

держави повинні були надати. Проаналізувавши відповіді, розробниками підходу були визначені індекси кожної держави світу та був створений глобальний рейтинг країн відповідно до стану захищеності у КБП від 1 (найбільший) до 0 (найменший). Це дало змогу побачити глобальну картину КБ у всьому світі, оцінити рівень захисту в окремих частинах світу та проаналізувати рівень кожної держави окремо. Основним недоліком цього підходу є необґрунтованість показників, що використовуються, оцінка яких є суб'єктивною, а отримання достовірних даних є досить складним завданням.

Досить гнучкий спосіб оцінювання рівня КБ відображено у [94]. Автори пропонують використовувати метрики КБ, за допомогою яких можна оцінити, перевірити та покращити рівень КБ об'єкту дослідження. В основу підходу покладено використання метрик в бізнес-процесах компаній та організацій. Для створення нової метрики необхідно визначити міри, сукупність яких математично охарактеризують певні параметри, які слід використовувати для аналізу та неперервного покращення бізнесу організацій або держави. Використання певних мір та побудованих на їх основі метрик є досить розповсюдженою практикою. Недоліком даного підходу є необхідність попереднього моделювання, математичне обґрунтування розроблення та впровадження цих метрик, що є нелегким завданням, до того ж результат може бути не зовсім об'єктивним.

Комплексний метод пропонується у [95]. Рівень КБ можна кількісно оцінити за допомогою повністю незалежних показників NSCI (National Cyber Security Index) та ISD (Informational Society Score). Показник NSCI складається з низки субпоказників, показник ISD розподіляється на субпоказники IDI (The ICT Development Index) та NRI (Networked Readiness Index) [96], недоліком даного методу є те, що через велику кількість показників необхідно виділяти значні ресурси для дослідження, щоб система показників була близькою до реальності. Математично-статистичний підхід описано у [97]. Пропонується метод оцінки КБ важливих об'єктів КІІ, який дозволяє розрахувати індекс критичності. Для

реалізації запропонованого методу необхідно виділити ключові чинники, наприклад, рівень важливості, наявність систем безперервної роботи, вартість, час простою і т.д. Після цього, для кожного визначеного фактору необхідно використати ваговий коефіцієнт. Кожний параметр повинен мати значення від «0» до «100» згідно з запропонованою шкалою розрахунку значення. Далі, на основі значення індексу критичності, можна зробити висновок про важливість даного об'єкта КІІ. Недоліком методу є його складність адаптування до нових систем та складність обґрунтування вагових коефіцієнтів і показників. У роботі [98] запропоновано методологію оцінювання безпеки ІКТ на прикладі автоматизованих банківських систем, яка базується на концепції стратегічного управління безпекою зазначених систем. Запропонована концепція передбачає синергетичний підхід до вибору найбільш ефективних напрямків досягнення поставлених цілей КБ з урахуванням величини ризику на кожному рівні моделі стратегічного управління. Подібний вибір дозволяє комплексно проводити відбір альтернативних варіантів можливих стратегічних рішень з питань КБ. Проте, запропонована концепція орієнтована виключно на банківський сектор, не є універсальною та не може застосовуватись для інших галузей КІІ.

У табл. 1.7, згідно [92, 99-100] відображено результати аналізу зазначених підходів до оцінювання рівня КБ за такі критеріями: CS – врахування засобів і заходів КБ; ICT – врахування імплементації ІКТ; QR – кількісні параметри; СПР – оцінювання галузей КІІ; UM – універсальність.

Таблиця 1.7

## Підходи до оцінювання рівня КБ

<i>Назва методу</i>	<i>Критерії</i>				
	CS	ICT	QR	СПР	UM
ICT Development index (ITU)	+	+	+	–	–
Метод Black, Scarfone, Souppaya	+	+	+	–	–
NCSI (EGA)	+	+	+	–	–
Метод Нестругіна	–	–	+	+	–
Метод Євсєєва	+	+	+	–	–

Проведений аналіз показав, що існуючим методам у контексті формалізованого завдання притаманні недоліки, серед яких необґрунтованість показників, які необхідні для побудови метрик, складне моделювання досліджуваної системи, необхідність використання складного математичного апарату, залучення різних статистичних ресурсів, необхідних для подальшого аналізу і створення метрик КБ. З огляду на необхідність забезпечення можливості оцінювання рівня КБ галузі КІІ необхідно розробити метод оцінювання рівня КБ галузі КІІ держави.

### 1.6. Формалізація завдання дисертаційного дослідження

Таким чином, у першому розділі, на основі проведеного аналізу (рис. 1.6 Етап 1), визначено і обґрунтовано основні задачі дослідження (рис. 1.6 Етап 2-9), розв'язання яких необхідне для досягнення мети, що поставлена в дисертаційній роботі.

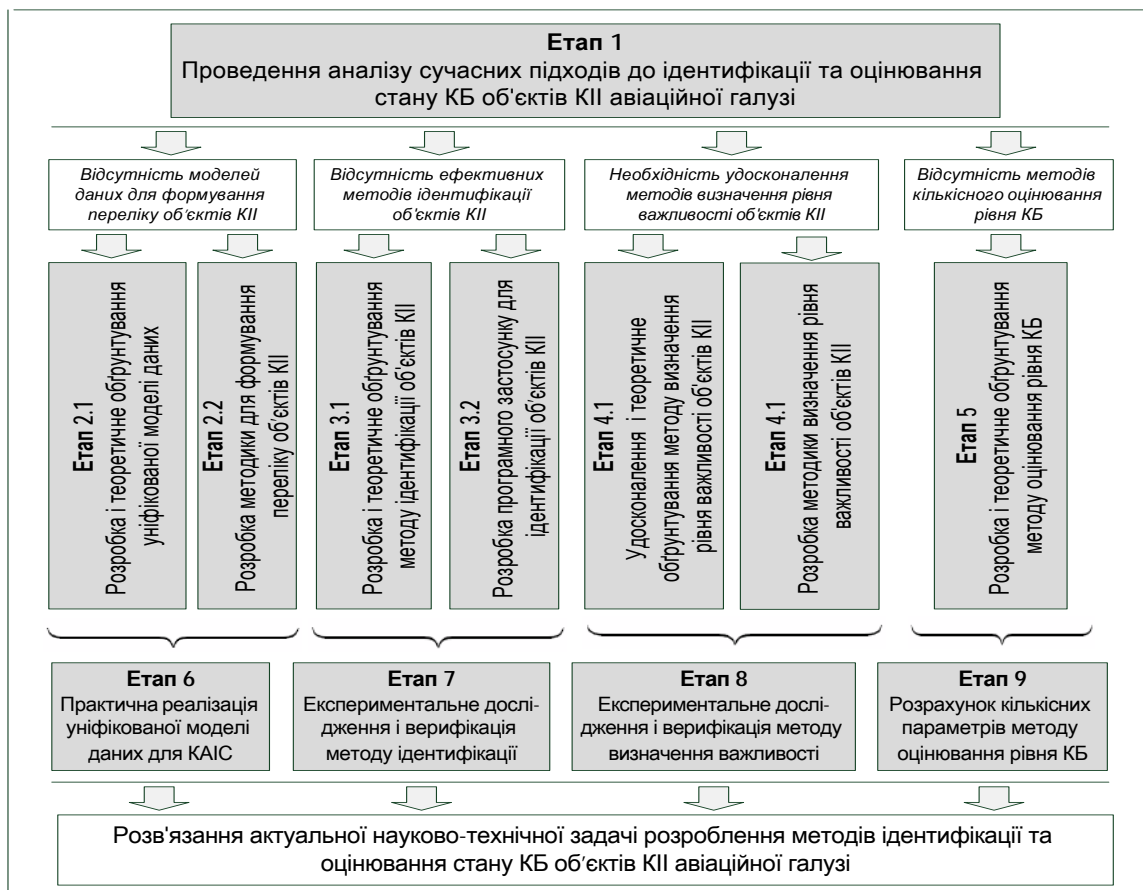


Рис. 1.6. Етапи виконання наукового дослідження

Таким чином у наступних розділах роботи згідно поставленої мети буде розроблена уніфікована модель даних для формалізації процесу формування переліку об'єктів КІІ держави (п. 2.1); розроблено метод ідентифікації для визначення елементів інфраструктури галузі КІІ (п. 2.4); удосконалено метод визначення рівня важливості (п. 3.1); розроблено метод оцінювання рівня КБ (п. 3.2); створено спеціалізоване програмне забезпечення для верифікації розробленого у роботі методу (п. 4.2).

### **1.7. Висновки до першого розділу**

Проведено аналіз сучасних підходів до ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ держави, у результаті чого встановлено, що на сьогодні в Україні відсутній вичерпний перелік об'єктів КІІ та дієві механізми його формування. Також визначено, що відомі підходи до ідентифікації об'єктів КІІ орієнтовані, як правило, на економічні, екологічні, техногенні та інші домени безпеки держави та не враховують особливостей КІІ. Існуючі методи визначення рівня критичності не є формалізованими, а методи оцінювання рівня КБ мають низку недоліків, серед яких, відсутність обґрунтування та чіткого кількісного визначення метрик КБ. Проведений аналіз дозволив формалізувати завдання дисертаційного дослідження щодо розробки і вдосконалення методів ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі.

### **1.8. Список літератури до першого розділу**

1. С.О. Гнатюк, В.М. Лядовська, «Критерії визначення елементів критичної інфраструктури держави», Інноваційний потенціал світової науки — XXI сторіччя, матеріали XXIII всеукраїнської наук.-практ. Конф., Запоріжжя, вид-во ПГА, с. 55-57, 2013.

2. В.М. Лядовська, М.О. Рябий, С.О. Гнатюк, «Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захист: аналіз підходів», Зв'язок, №4, с. 3-7, 2014.



3. A. Wenger, V. Mauer, M. Cavelt, «International critical information infrastructure protection handbook 2008-2009», Center for Security Studies, ETH Zurich, 2009.
4. О.Д. Довгань, «Критична інфраструктура як об'єкт захисту від кібернетичних атак», Інформаційна безпека: виклики і загрози сучасності, матеріали наук.-практ. конф., К., НА СБ України, с. 17-20, 2013.
5. Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов, «Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні», К., НІСД, 96 с., 2012.
6. «Методика віднесення об'єктів державної та недержавної власності до критично важливих об'єктів для національної безпеки Російської Федерації», № 2-4-87-23-14, М., МНС Росії, від 17.10.2012 р., 29 с., 2012.
7. Безпека критичних інфраструктур. URL: <http://www.slideshare.net/lukatsky/pir-center-critical-infrastructure-protection>.
8. Про погляд на проблему безпеки критичної інфраструктури в державі Ізраїль. URL: [http://www.noravank.am/rus/articles/detail.php?ELEMENT\\_ID=6516](http://www.noravank.am/rus/articles/detail.php?ELEMENT_ID=6516).
9. Об'єкти критичної інфраструктури та об'єкти критичної інформаційної інфраструктури в європейських країнах, Інформаційна довідка, підготовлена Європейським інформаційно-дослідницьким центром на запит Апарату Верховної Ради України. URL: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf>
10. С. Гнатюк, В. Сидоренко, «Критична інфраструктура держави», Матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2015. Сучасні проблеми науки», м. Київ, 8-9 квітня 2015 р., С. 131, 2015.
11. Critical infrastructure protection. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Critical\\_infrastructure\\_protection](http://en.wikipedia.org/wiki/Critical_infrastructure_protection).
12. A Critical Information Infrastructure Protection Approach to Multinational Cyber Security Events. URL: [http://www.enisa.europa.eu/activities/cert/events/files/ENISA\\_best\\_practices\\_for\\_ciip\\_Willke.pdf](http://www.enisa.europa.eu/activities/cert/events/files/ENISA_best_practices_for_ciip_Willke.pdf).
13. Green paper on a European programme for critical infrastructure protection (COM/2005/576 final). URL: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005\\_0576en01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0576en01.pdf).

14. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні. URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2016\\_book/Syxodolya\\_ost.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Syxodolya_ost.pdf).
15. Постанова Кабінету Міністрів України «Постанова про затвердження порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави». від 23.08.2016, №563. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>.
16. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку підприємств, які мають стратегічне значення для економіки та безпеки держави» від 23.12.2004 № 1734.
17. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку особливо важливих об'єктів електроенергетики, які підлягають охороні відомчою воєнізованою охороною у взаємодії із спеціалізованими підрозділами інших центральних органів виконавчої влади» від 28.07.2003 № 1170.
18. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку особливо важливих об'єктів нафтогазової галузі» від 27.05.2009 № 578-р.
19. Постанова Кабінету Міністрів України № 1051 від 15.08.2007 (для службового користування).
20. Положення про єдину державну систему запобігання, реагування і припинення терористичних актів та мінімізації їх наслідків (затверджене Постановою Кабінету Міністрів України № 1051 від 15.08.2007 р.).
21. Постанова Кабінету Міністрів України «Щодо затвердження Переліку об'єктів, які підлягають охороні і обороні в умовах надзвичайних ситуацій і в особливий період» від 24.04.99 року №675-019.
22. Постанова Кабінету Міністрів України «Про заходи щодо вдосконалення охорони об'єктів державної та інших форм власності» (із змінами) від 10 серпня 1993 р. №615.
23. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 № 2245-III.
24. Перелік особливо небезпечних підприємств, припинення діяльності яких потребує проведення спеціальних заходів щодо запобігання заподіяння шкоди життю та здоров'ю громадян, майну, спорудам, навколишньому

природному середовищу / Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 06.05.2000 №765.

25. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів» від 29.08.2002 р. № 1288.

26. Наказ Держатомрегулювання «Про затвердження Переліку радіаційно небезпечних об'єктів в Україні, для яких розробляється об'єктова проектна загроза» від 17.12.2012 № 238.

27. Постанова Кабінету Міністрів України від 02.03.2010 № 227 дск (із змінами згідно постанови Кабінету Міністрів України від 24.07.2014 № 545 дск).

28. Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 № 6.

29. Закон України «Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112» від 13.03.2012 №4499-VI.

30. Закон України «Про Національну систему конфіденційного зв'язку» (із змінами) від 10.01.2002 № 2919-III.

31. Закон України «Про платіжні системи та переказ коштів в Україні» від 05.04.2001 №2346-III.

32. Закон України «Про охорону культурної спадщини» від 08.06.2000 № 1805-III.

33. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 15.10.2017, №2163-VIII. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2163-19>.

34. Концепцію створення державної системи захисту критичної інфраструктури, від 06 грудня 2017 р., № 1009-р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1009-2017-%D1%80>.

35. Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов, «Стратегія захисту критичної інфраструктури в системі національної безпеки держави», *Стратегічні пріоритети*, № 3 (24), с. 107-113, 2012.

36. Д.Г. Бобро, «Методологія оцінки рівня критичності об'єктів інфраструктури», *Стратегічні пріоритети*, №3, С. 77-85, 2016.

37. Д.Г. Бобро, «Визначення критеріїв оцінки та загрози критичній інфраструктурі», *Стратегічні пріоритети*, № 4 (37), С. 83–93, 2015.

38. Д.Г. Бобро, «Урахування проектних загроз у розбудові державної системи захисту критичної інфраструктури», *Стратегічні пріоритети*, № 3, С. 42–51, 2017.
39. Кондратьев А., «Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах», *Зарубежное военное обозрение*, №1, с. 19-30, 2012.
40. L. Cazorla, C. Alcaraz, J. Lopez, «Awareness and reaction strategies for critical infrastructure protection», *Computers and Electrical Engineering*, 2015.
41. C. Alcaraz, S. Zeadally, «Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century», *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2015.
42. W. Hurst, M. Merabti, P. Fergus, «A survey of critical infrastructure security», *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 441, p. 127-138, 2014.
43. W. Hurst, M. Merabti, P. Fergus, «Big data analysis techniques for cyber-threat detection in critical infrastructures», *Proceedings - 2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, IEEE WAINA*, 6844756, p. 916-921, 2014.
44. В. Харченко, В. Скляр, Е. Брежнев, «Безопасность информационно-управляющих систем и инфраструктур. Модели, методы и технологии», *Palmarium academic publishing*, 528 с., 2013.
45. В.С. Харченко, Ирадж Эльяси Комари, «Комплексный анализ гарантоспособности информационно-управляющих систем и инфраструктур: FME(C)A – модели и информационная технология», *Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр., вип.1 (23), К., с. 92-97*, 2008.
46. B. Genge, C. Siaterlis, G. Karopoulos, «Data fusion-base anomaly detection in networked critical infrastructures», *Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks*, 6615505, 2013.
47. B. Genge, C. Siaterlis, M. Hohenadel, «AMICI: An assessment platform for multi-domain security experimentation on critical infrastructures», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7722 LNCS, p. 228-239, 2013.

48. L. Coppolino, S. D'antonio, L. Romano, G. Spagnuolo, «An intrusion detection system for critical information infrastructures using wireless sensor network technologies», 5th International Conference on Critical Infrastructure, CRIS 2010 – Proceedings, 5617547, 2010.
49. G. Baldini, I. Kounelis, I. Fovino, R. Neisse, «A framework for privacy protection and usage control of personal data in a smart city scenario», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8328 LNCS, p. 212-217, 2013.
50. A. Rigoni, I. Fovino, S. Di Blasi, E. Casalicchio, «Worldwide security and resiliency of cyber infrastructures: The role of the domain name system», 2nd Worldwide Cybersecurity Summit, WCS, 5978795, 2011.
51. M. Theoharidou, M. Kandias, D. Gritzalis, «Securing transportation-critical infrastructures: Trends and perspectives», *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, 99 LNICST, p. 171-178, 2012.
52. M. Theoharidou, P. Kotzanikolaou, D. Gritzalis, «A multi-layer Criticality Assessment methodology based on interdependencies», *Computers and Security*, 29(6), p. 643-658, 2010.
53. Т. Елисеєва, «Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО», *Известия ТулГУ. Технические науки*, В. 5, с. 182-186, 2013.
54. Fekete A., «Common criteria for the assessment of critical infrastructures», *International Journal of Disaster Risk Science*, vol.2, №1, p.15-24, 2011.
55. Цигичко В.Н., Смолян Г.Л., Черешкін Д.С., «Забезпечення безпеки критичних інфраструктур в США», т.27, 2006.
56. S. Gnatyuk, M. Ryabyu, V. Sydorenko, «Complex approach to ensure civil aviation cybersecurity», *Международ. науч. конф.: «Украина – България – Европейски Съюз: съвременно състояние и перспективи»*, Варна – Херсон, 11-17 септември 2014 г., С. 253-257, 2014.
57. НДР «Інфраструктура» № держреєстрації 0114U000038д.
58. В.А. Лахно, «Підвищення кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем транспорту», *Безпека інформації*, Т. 22, №1, С. 44-50, 2016.

59. Doc 8973 ICAO «Aviation Safety Guide» (Restricted), no 9, 818 p.
60. Додаток 17 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію «Безпека. Захист міжнародної цивільної авіації від актів незаконного втручання», Вид. 9, 60 с., 2011.
61. Doc 30 «Політика ЕСАС у сфері авіаційної безпеки» (Restricted) Вид. 13, 138 с., 2010.
62. Keating C, Rogers R., Unal R., Dryer D., Safford R., Peterson W., Rabadi G., «System of Systems Engineerings», *Engineering Management Journal*, vol. 15, № 3, p. 36-45, 2003.
63. Jackson M.C., «Systems Methodology for the Management Sciences», New York: Plenum, 81 p., 1991.
64. С. Гнатюк, В. Лядовська, «Підходи до визначення критичної інфраструктури держави», Матеріали наук.-практ. конф. «Механізми управління безпекою підприємств в сучасних умовах господарювання», К., 5 грудня 2013 р., с. 83-84, 2013.
65. С. Гнатюк, В. Лядовська, «Ідентифікація об'єктів критичної інфраструктури держави», Матеріали наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави», К., 20 березня 2014 р., с. 48-52, 2014.
66. В. Лядовська, «Методи та критерії ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури держави», Матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014)», К., 19-20 травня 2014 р., с. 356-358, 2014.
67. S. Gnatyuk, V. Sydorenko, «Criteria for the identification of critical infrastructures of the state», The VI world congress «Aviation in the XXI-st century. Safety in Aviation and Space Technologies», Kyiv, September 23-25, 2014, v. 1 – P. 1.11.68-1.11.71, 2014.
68. On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection: Council Directive 2008/114/EC. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0114:EN:HTML:NOT>.

69. Поняття про критичну інфраструктуру. URL: <http://mailswm.com/ponyattya-pro-kritichnu-infrastrukturu/>.
70. Clausewitz C.-V., «On War», Swedish translation by Mertensson, Buhme och Johansson. Stockholm, Sweden: Bonnier Fakta Bokfurlag, p. 1832, 1991.
71. Курносков Ю.В., Конотопов П.Ю., «Аналитика. Методология, технология и организация информационно-аналитической работы», М., 135 с., 2004.
72. R. Mattioli, C. Levy-Bencheton, «Methodologies for the identification of Critical Information Infrastructure assets and services», ENISA Report, 43 с., 2014.
73. С.О. Гнатюк, В.М. Сидоренко, О.П. Дуксенко, «Сучасні підходи до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів критичної інфраструктури», *Безпека інформації*, том 21, №3, с. 269-275, 2015.
74. В. Сидоренко, «Методи виявлення критично важливих об'єктів інфраструктури держави», Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2015)», К., 18-19 травня 2015 р., с.279-281, 2015.
75. С. Гнатюк, В. Сидоренко, «Огляд методів оцінювання критично важливих об'єктів», Матер.ІV всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики», К., 28-29 жовтня 2015 р., с.110, 2015.
76. В. Сидоренко, М. Александер, А.А. Наджі, «Сучасні підходи до визначення та ідентифікації критичної інформаційної інфраструктури», Матеріали наук.-практ. конф. «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації», К., 24-27 лютого 2016 р., с.134-137, 2016.
77. Пугачева Е.Г., «Идеи теории сложных систем и их применение в экономике», Проблемы системного підходу в економіці, збірник наукових праць, вип. 31., К.: НАУ, с. 36-45, 2009.
78. КВИС — критически важные информационные сегменты. URL: [http://security-corp.org/administration/network\\_technologies/4580-kvis-kriticheski-vazhnye-informacionnye-segmenty.html](http://security-corp.org/administration/network_technologies/4580-kvis-kriticheski-vazhnye-informacionnye-segmenty.html).
79. Стиславский А.Б., «Построение методологии обеспечения транспортной безопасности на основе категорирования», *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, Рівне: НУВГП, Зб. наук.пр., ч.2, № 3 (47), с. 155-165, 2009.

80. С. М. Братушка, «Імітаційне моделювання як інструмент дослідження складних економічних систем», *Наук. вісн. НЛТУ України*, № 8, с. 22-28, 2009.
81. Dudenhoeffler D., Permann M., Manic M., «CIMS: a framework for infrastructure interdependency modeling and analysis», *Proceedings of the Winter Simulation Conference WSC 2006, Monterey, California, USA*, p. 478-485, 2006.
82. С.О. Гнатюк, «Кібертероризм: історія розвитку, сучасні тенденції та контрзаходи», *Безпека інформації*, том 19, №2., с. 118-129, 2013.
83. С.О. Гнатюк, Р.С. Одарченко, В.М. Сидоренко, «Аналіз методів розрахунку критичності інформаційних систем», *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК–2016): Дев'ята міжнар. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2016 р.: тези доп.*, К. : НАУ, с.279-281, 2016.
84. В. Сидоренко, А. Оган, «Методи розрахунку критичності інформаційних систем в контексті оцінювання ризиків інформаційної безпеки», *Матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. «Безпека інформаційних технологій (ITSEC–2016)»*, 17-19 травня 2016 р., К.: НАУ, с.123-124, 2016.
85. В. Сидоренко, В. Гнатюк, В. Лукашенко «Підхід до визначення рівня важливості об'єктів критичної інфраструктури в галузі цивільної авіації», *Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації»*, К., 22-25 лютого 2017 р., с.155-157, 2017.
86. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска, М.: Стандартинформ, 74 с., 2012.
87. Анализ применимости методов оценки рисков к процессам аутентификации при удалённом электронном взаимодействии. URL: [http://www.aladdinrd.ru/company /press ro om/articles/41285/](http://www.aladdinrd.ru/company /press room/articles/41285/).
88. Методологии управления ИТ – рисками. URL: <http://www.osp.ru/os/2006/08/3584582/>.
89. 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.



90. ГОСТ 27.310-95, Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения, Минск: ИПК Издательство стандартов, 23 с., 1996.
91. ГОСТ Р 51901.12:2007, Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов, М.: Стандартинформ, 36 с., 2008.
92. В. Сидоренко, А. Положенцев, С. Гнатюк, «Метод визначення рівня захищеності критичної інформаційної інфраструктури держави», *Вісник інженерної академії України*, вип. 42, с. 81- 89, 2017.
93. Global Cybersecurity Index. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/>.
94. P. Black, K. Scarfone, M. Souppaya, «Cyber security metrics and measures», *Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security*, vol. 4, 2010.
95. National Cyber Security Index. URL: <http://ncsi.ega.ee/ncsi-index/>.
96. The Networked Readiness Index 2016. URL:[http://www3.weforum.org/docs/GITR/2014/GITR\\_OverallRanking\\_2016](http://www3.weforum.org/docs/GITR/2014/GITR_OverallRanking_2016).
97. А.Н. Нестругин, «Методика автоматического ранжирования объектов защиты по уровню потенциальной опасности на примере нефтеперерабатывающих производств», Диссертация, Санкт-Петербург, с. 77-84, 2014.
98. С.П. Євсєєв, «Методологія оцінювання безпеки інформаційних технологій автоматизованих банківських систем України», *Безпека інформації*, том 22, №3, с. 297-309, 2016.
99. Z. Hu, Yu. Khokhlova, V. Sydorenko, I. Opriskyu «Method for Optimization of Information Security Systems Behavior under Conditions of Influences», *International Journal Intelligent Systems and Applications*, № 12, p. 46-58, 2017.
100. Z. Hu, V. Gnatyuk, V. Sydorenko, R. Odarchenko, S. Gnatyuk «Method for Cyberincidents Network-Centric Monitoring in Critical Information Infrastructure», *International Journal of Computer Network and Information Security*, Vol. 9, № 6, June 2017, p. 30-43, 2017.
101. Aleksander M., Odarchenko R., Kredentsar S., Kozhokhina O., Gnatyuk V., Sydorenko V. «Informational and Functional Reliability Model for Air Navigation System Operator», *TTS, Badania*, №12, p. 287-292, 2016.

## РОЗДІЛ 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

#### 2.1. Уніфікована модель даних для формування переліку об'єктів КІ держави

Проведений в першому розділі аналіз вітчизняної нормативної бази свідчить, що галузь захисту КІ нашої держави перебуває на початковому етапі формування. Хоча чинним вітчизняним законодавством й визначено окремі об'єкти соціально-економічної сфери України, надзвичайні події на яких можуть призвести до суспільно небезпечних наслідків, проте вони не складають єдину систему [1-4]. Відповідно до [5] в Україні на сьогодні триває розробка пропозицій щодо формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів КІ держави, але зазначений перелік, на жаль, так і не сформовано в жодному секторі КІ. Серед галузей КІ особливого захисту потребує ЦА держави, де відповідно до керівних документів у цій галузі (зокрема [6,7]), необхідно ідентифікувати і захищати КАІС. Адже очевидно, що несанкціоноване втручання у роботу КАІС може призвести до значних економічних збитків, людських жертв і руйнування загальнодержавної інфраструктури. Проте, жоден із керівних документів ІСАО чи ЕСАС щодо забезпечення захисту міжнародної ЦА не містить повний перелік КАІС, що ускладнює розробку ефективних методів захисту КАІС від різного роду кіберзагроз. Зважаючи на це, була розроблена уніфікована модель даних для формування переліку об'єктів КІ держави [8,9].

З урахуванням [5], введемо повну множину категорій систем КІ у певній галузі  $S$ :

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (2.1)$$

де  $S_i \subseteq S$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – категорії систем в певній галузі КІ,  $n$  – загальна кількість категорій систем. Слід зауважити, що кожна множина може бути представлена у трьох виглядах: множина з індексом (I), наприклад  $S_1$ ;

множина з індексом імені об'єкта (ІО), наприклад  $\mathbf{S}_{\text{ISAO}}$  та множина з іменем об'єкта (ІО), наприклад  $\text{ISAO}$ .

Множина категорій  $\mathbf{S}_i$  може бути представлена у вигляді множини систем:

$$\mathbf{S}_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{S}_{ij} \right\} = \left\{ \mathbf{S}_{i1}, \mathbf{S}_{i2}, \dots, \mathbf{S}_{im_i} \right\}, \quad (2.2)$$

де  $\mathbf{S}_{ij} \subseteq \mathbf{S}_i$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ ) – системи  $i$ -ї категорії,  $m_i$  – кількість систем  $i$ -х категорій.

З урахуванням (2.2), вираз (2.1) можна представити у такому вигляді:

$$\mathbf{S} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{S}_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{S}_{ij} \right\} \right\} = \left\{ \left\{ \mathbf{S}_{11}, \mathbf{S}_{12}, \dots, \mathbf{S}_{1m_1} \right\}, \right. \\ \left. \left\{ \mathbf{S}_{21}, \mathbf{S}_{22}, \dots, \mathbf{S}_{2m_2} \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{S}_{n1}, \mathbf{S}_{n2}, \dots, \mathbf{S}_{nm_n} \right\} \right\}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}). \quad (2.3)$$

Систематизовані дані представлення множин систем  $i$ -х категорій можна відобразити за допомогою табл. 2.1, де І та ІО вид представлення множин з індексом або з іменем об'єкта відповідно.

Таблиця 2.1

Представлення множин систем  $i$ -ї категорії

Множина категорій (І) $\mathbf{S}_i$ ( $i = \overline{1, n}$ )	Множина категорій (ІО) $\mathbf{S}_i$ ( $i = \overline{1, n}$ )	Кількість систем $i$ -ї категорії – $j$ ( $j = \overline{1, m_i}$ )	Множини систем (І) $\mathbf{S}_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ )	Множини систем (ІО) $\mathbf{S}_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ )
$\mathbf{S}_i$	$\mathbf{S}_i$	$m_i$	$\mathbf{S}_{ij}$	$\mathbf{S}_{ij}$

Множина систем  $\mathbf{S}_{ij}$  може бути представлена у вигляді множини підсистем:

$$\mathbf{S}_{ij} = \left\{ \bigcup_{k=1}^{r_{ij}} \mathbf{S}_{ijk} \right\} = \left\{ \mathbf{S}_{ij1}, \mathbf{S}_{ij2}, \dots, \mathbf{S}_{ijr_{ij}} \right\}, \quad (2.4)$$

де  $\mathbf{S}_{ijk} \subseteq \mathbf{S}_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}$ ) – множина підсистем системи  $\mathbf{S}_{ij}$ ,  $r_{ij}$  –

кількість підсистем  $ij$ -ї системи. З урахуванням (2.4), вираз (2.3) можна представити у такому вигляді:

$$\mathbf{S} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{S}_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{S}_{ij} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \left\{ \bigcup_{k=1}^{r_{ij}} \mathbf{S}_{ijk} \right\} \right\} \right\} = \\ = \left\{ \left\{ \left\{ \mathbf{S}_{111}, \mathbf{S}_{112}, \dots, \mathbf{S}_{11r_{11}} \right\}, \left\{ \mathbf{S}_{121}, \mathbf{S}_{122}, \dots, \mathbf{S}_{12r_{12}} \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{S}_{1m_11}, \mathbf{S}_{1m_12}, \dots, \mathbf{S}_{1m_1r_{m_1}} \right\} \right\}, \right. \\ \left. \left\{ \left\{ \mathbf{S}_{211}, \mathbf{S}_{212}, \dots, \mathbf{S}_{21r_{21}} \right\}, \left\{ \mathbf{S}_{221}, \mathbf{S}_{222}, \dots, \mathbf{S}_{22r_{22}} \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{S}_{2m_21}, \mathbf{S}_{2m_22}, \dots, \mathbf{S}_{2m_2r_{m_2}} \right\} \right\}, \dots, \right. \\ \left. \left\{ \left\{ \mathbf{S}_{n11}, \mathbf{S}_{n12}, \dots, \mathbf{S}_{n1r_{n1}} \right\}, \left\{ \mathbf{S}_{n21}, \mathbf{S}_{n22}, \dots, \mathbf{S}_{n2r_{n2}} \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{S}_{nm_11}, \mathbf{S}_{nm_12}, \dots, \mathbf{S}_{nm_1r_{nm_1}} \right\} \right\} \right\}. \quad (2.5)$$

Систематизовані дані представлення множин підсистем  $ij$ -х систем можна відобразити за допомогою табл. 2.2, де множини підсистем позначаються як елементи множини та є нижчими рівнями деталізації системи.

Таблиця 2.2

Представлення множин підсистем  $ij$ -ї системи

Множини систем (I) $S_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ )	Множини систем (IO) $S_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ )	Кількість підсистем $ij$ -ї системи – $k$ ( $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Множини підсистем (I) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Множини підсистем (IO) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )
$S_{ij}$	$S_{ij}$	$r_{ij}$	$S_{ijk}$	$S_{ijk}$

Множина підсистем системи  $S_{ijk}$  може бути представлена у вигляді підмножини підсистем:

$$S_{ijk} = \left\{ \bigcup_{p=1}^{v_{ijk}} S_{ijkp} \right\} = \left\{ S_{ijk1}, S_{ijk2}, \dots, S_{ijkv_{ijk}} \right\}, \quad (2.6)$$

де  $S_{ijkp} \subseteq S_{ijk}$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ,  $k = \overline{1, r_{ij}}$ ,  $p = \overline{1, v_{ijk}}$ ) – підмножина підсистем  $S_{ijk}$ ,  $v_{ijk}$  – кількість підмножин  $ijk$ -ї підсистеми.

З урахуванням (2.6), вираз (2.3) можна представити у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 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\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \left\{ \bigcup_{k=1}^{r_{ij}} S_{ijk} \right\} \right\} \right\} = \\
 &= \left\{ \left\{ \left\{ S_{1111}, S_{1112}, \dots, S_{111v_{111}} \right\}, \left\{ S_{1121}, S_{1122}, \dots, S_{112v_{112}} \right\}, \dots, \left\{ S_{11r_{11}1}, S_{11r_{11}2}, \dots, S_{11r_{11}v_{11r_{11}}} \right\} \right\}, \right. \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{1211}, S_{1212}, \dots, S_{121v_{121}} \right\}, \left\{ S_{1221}, S_{1222}, \dots, S_{122v_{122}} \right\}, \dots, \left\{ S_{12r_{12}1}, S_{12r_{12}2}, \dots, S_{12r_{12}v_{12r_{12}}} \right\} \right\}, \dots, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{1m_111}, S_{1m_112}, \dots, S_{1m_11v_{1m_11}} \right\}, \left\{ S_{1m_121}, S_{1m_122}, \dots, S_{1m_12v_{1m_12}} \right\}, \dots, \left\{ S_{1m_1r_{1m_1}1}, S_{1m_1r_{1m_1}2}, \dots, S_{1m_1r_{1m_1}v_{1m_1r_{1m_1}}} \right\} \right\}, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{2111}, S_{2112}, \dots, S_{211v_{211}} \right\}, \left\{ S_{2121}, S_{2122}, \dots, S_{212v_{212}} \right\}, \dots, \left\{ S_{21r_{21}1}, S_{21r_{21}2}, \dots, S_{21r_{21}v_{21r_{21}}} \right\} \right\}, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{2211}, S_{2212}, \dots, S_{221v_{221}} \right\}, \left\{ S_{2221}, S_{2222}, \dots, S_{222v_{222}} \right\}, \dots, \left\{ S_{22r_{22}1}, S_{22r_{22}2}, \dots, S_{22r_{22}v_{22r_{22}}} \right\} \right\}, \dots, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{2m_211}, S_{2m_212}, \dots, S_{2m_21v_{2m_21}} \right\}, \left\{ S_{2m_221}, S_{2m_222}, \dots, S_{2m_22v_{2m_22}} \right\}, \dots, \left\{ S_{2m_2r_{2m_2}1}, S_{2m_2r_{2m_2}2}, \dots, S_{2m_2r_{2m_2}v_{2m_2r_{2m_2}}} \right\} \right\}, \dots, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{n111}, S_{n112}, \dots, S_{n11v_{n11}} \right\}, \left\{ S_{n121}, S_{n122}, \dots, S_{n12v_{n12}} \right\}, \dots, \left\{ S_{n1r_{n1}1}, S_{n1r_{n1}2}, \dots, S_{n1r_{n1}v_{n1r_{n1}}} \right\} \right\}, \\
 &\quad \left\{ \left\{ S_{n211}, S_{n212}, \dots, S_{n21v_{n21}} \right\}, \left\{ S_{n221}, S_{n222}, \dots, S_{n22v_{n22}} \right\}, \dots, \left\{ S_{n2r_{n2}1}, S_{n2r_{n2}2}, \dots, S_{n2r_{n2}v_{n2r_{n2}}} \right\} \right\}, \dots, \\
 &\quad \left. \left\{ \left\{ S_{nm_n11}, S_{nm_n12}, \dots, S_{nm_n1v_{nm_n1}} \right\}, \left\{ S_{nm_n21}, S_{nm_n22}, \dots, S_{nm_n2v_{nm_n2}} \right\}, \dots, \left\{ S_{nm_nr_{nm_n}1}, S_{nm_nr_{nm_n}2}, \dots, S_{nm_nr_{nm_n}v_{nm_nr_{nm_n}}} \right\} \right\} \right\}.
 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Систематизовані дані представлення підмножин  $ijk$ -х підсистем можна відобразити за допомогою табл. 2.3, де підмножини підсистем позначаються як елементи множини та є нижчими рівнями деталізації системи.

Таблиця 2.3

Представлення підмножин  $ijk$ -ї підсистеми

Множини підсистем (I) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Множини підсистем (IO) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Кількість підмножин $ijk$ -ї підсистеми – $p$ ( $p = \overline{1, v_{ijk}}$ )	Підмножини підсистем (I) $S_{ijkp}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ , $p = \overline{1, v_{ijk}}$ )	Підмножини підсистем (IO) $S_{ijkp}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ , $p = \overline{1, v_{ijk}}$ )
$S_{ijk}$	$S_{ijk}$	$v_{ijk}$	$S_{ijkp}$	$S_{ijkp}$

У залежності від можливостей деталізації категорій галузі КІІ підмножина підсистем  $S_{ijkp}$  може бути також представлена у вигляді підмножин з поглибленим рівнем деталізації. Тому існує необхідність представлення повної множини категорій систем у галузі КІІ  $S$  у загальному вигляді таким чином:

$$S = \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \left\{ \bigcup_{i_2=1}^{n_{i_1}} \left\{ \dots \left\{ \bigcup_{i_l=1}^{n_{i_1, i_2, \dots, i_{l-1}}} S_{i_1, i_2, \dots, i_l} \right\} \right\} \right\} \right\}, \quad (2.8)$$

де  $S_{i_1, i_2, \dots, i_l} \subseteq S$  ( $i_1 = \overline{1, n_0}$ ,  $i_2 = \overline{1, n_{i_1}}$ ,  $i_l = \overline{1, n_{i_1, i_2, \dots, i_{l-1}}}$ ) – рівні деталізації категорій систем  $S$ ,  $l$  – кількість рівнів деталізації категорій систем.

Систематизовані дані представлення переліку об'єктів КІІ для певної галузі можна відобразити за допомогою табл. 2.4.

Таблиця 2.4

## Перелік об'єктів КІІ для певної галузі

Повна множина категорій систем КІІ	Множини категорій (IO) $S_i$ ( $i = \overline{1, n}$ )	Множини систем (IO) $S_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ )	Множини підсистем (IO) / елементи множини $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Підмножини підсистем (IO) $S_{ijkp}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ , $p = \overline{1, v_{ijk}}$ )
$S$	$S_i$	$S_{ij}$	$S_{ijk}$	$S_{ijkp}$

Розроблена уніфікована модель даних дозволяє формалізувати процес формування переліку об'єктів КІІ певної галузі.

## 2.2. Формування переліку об'єктів галузі КІІ

На основі запропонованої уніфікованої моделі даних створено методику (рис. 2.1), яка дозволяє формувати перелік об'єктів КІІ певної галузі та на загальнодержавному рівні. Методика складається з наступних кроків: 1) Визначення категорій систем певної галузі КІІ чи держави взагалі згідно (2.1); 2) Визначення систем та підсистем згідно (2.2)-(2.7); 3) Формування переліку об'єктів галузі КІІ чи держави взагалі у загальному вигляді на основі (2.8); 4) Побудова матриць інцидентності та визначення зв'язності систем певної галузі КІІ та КЗ (див.п.2.3).

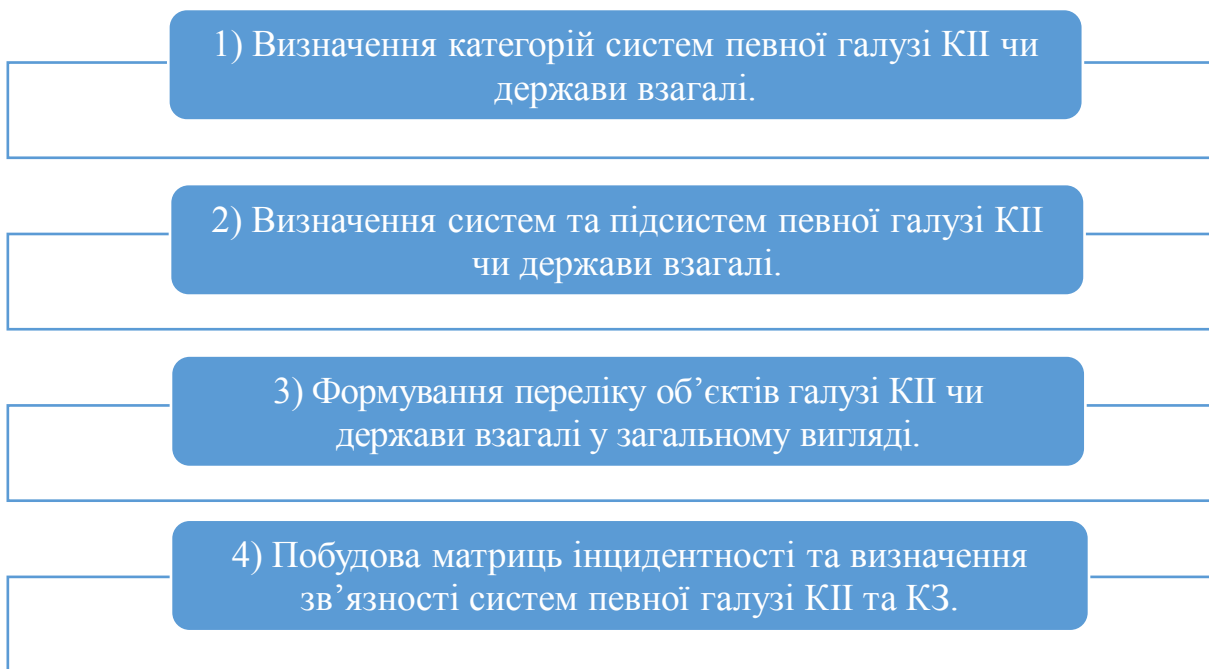


Рис. 2.1. Методика формування переліку об'єктів галузі КІІ

Відповідно запропонованої методики, розглянемо приклад формування переліку об'єктів КІІ для галузі ЦА (на основі системи КАІС) згідно [10], при  $n = 3$  з урахуванням (2.1), визначимо множину категорій систем таким чином:

$$\mathbf{S}_{\text{KAIS}} = \left\{ \bigcup_{i=1}^3 \mathbf{S}_i \right\} = \{ \mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2, \mathbf{S}_3 \} = \{ \mathbf{S}_{\text{ISAO}}, \mathbf{S}_{\text{BSPS}}, \mathbf{S}_{\text{ISAA}} \} = \{ \mathbf{ISAO}, \mathbf{BSPS}, \mathbf{ISAA} \},$$

де  $\mathbf{S}_1 = \mathbf{S}_{\text{ISAO}} = \mathbf{ISAO}$  – множина інформаційних систем аеронавігаційного обслуговування;  $\mathbf{S}_2 = \mathbf{S}_{\text{BSPS}} = \mathbf{BSPS}$  – множина бортових інформаційних систем повітряних суден;  $\mathbf{S}_3 = \mathbf{S}_{\text{ISAA}} = \mathbf{ISAA}$  – множина інформаційних систем авіакомпаній та аеропортів згідно [10]. Визначена множина категорій систем

може бути представлена за допомогою редактора Protégé у вигляді онтології, яка відображає ієрархію категорій систем та відношення між ними (рис. 2.2).

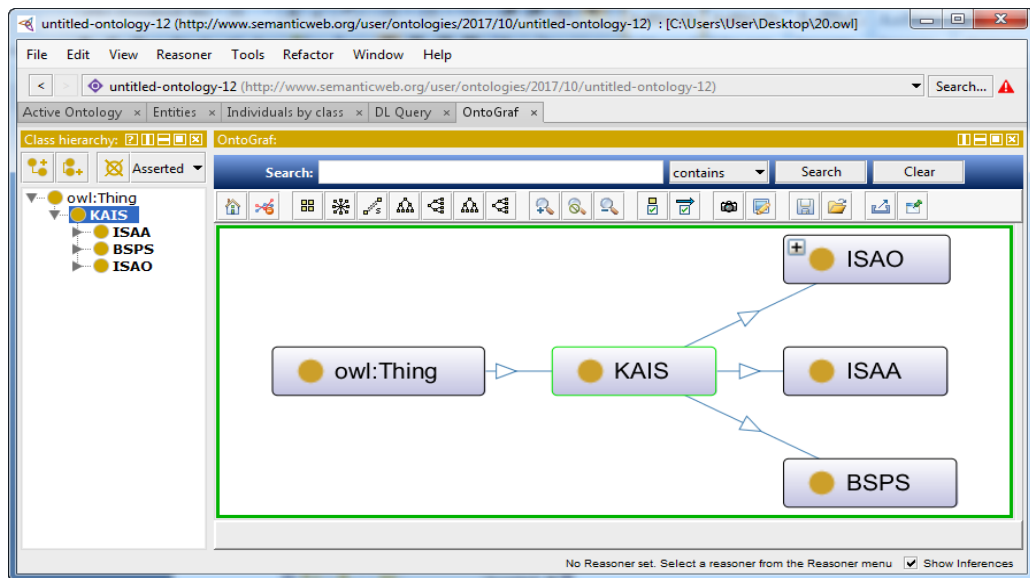


Рис. 2.2. Представлення ієрархії категорій систем КАІС

Для множини категорій  $S_1$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$  з використанням (2.2), представимо множину систем 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 електро-зв'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].

Аналогічно, для множини категорій  $S_2$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 7$  з використанням (2.2), представимо множину систем таким чином:

$$\begin{aligned} S_2 = S_{\text{BSPS}} = \text{BSPS} &= \left\{ \bigcup_{j=1}^7 S_{2j} \right\} = \{S_{2.1}, S_{2.2}, S_{2.3}, S_{2.4}, S_{2.5}, S_{2.6}, S_{2.7}\} = \\ &= \{S_{\text{SPS}}, S_{\text{SZV}}, S_{\text{NAVS}}, S_{\text{SSPZ}}, S_{\text{OSL}}, S_{\text{SVI}}, S_{\text{ABSK}}\} = \\ &= \{\text{SPS}, \text{SZV}, \text{NAVS}, \text{SSPZ}, \text{OSL}, \text{SVI}, \text{ABSK}\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.1} = S_{SPS} = SPS$  – система повітряних сигналів;  $S_{2.2} = S_{SZV} = SZV$  – системи зв'язку;  $S_{2.3} = S_{NAVS} = NAVS$  – навігаційні системи;  $S_{2.4} = S_{SSPZ} = SSPZ$  – системи спостереження та попередження зіткнень;  $S_{2.5} = S_{OSL} = OSL$  – обчислювальні системи літаководіння;  $S_{2.6} = S_{SVI} = SVI$  – системи відображення інформації;  $S_{2.7} = S_{ABSK} = ABSK$  – автоматичні бортові системи керування [10].

Аналогічно, для множини категорій  $S_3$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 5$  з використанням (2.2), представимо множину систем таким чином:

$$S_3 = S_{ISAA} = ISAA = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 S_{1j} \right\} = \{S_{3.1}, S_{3.2}, S_{3.3}, S_{3.4}, S_{3.5}\} = \\ = \{S_{CRS}, S_{GDS}, S_{IDS}, S_{BSP}, S_{DCS}\} = \{CRS, GDS, IDS, BSP, DCS\},$$

де  $S_{3.1} = S_{CRS} = CRS$  – система комп'ютерного бронювання;  $S_{3.2} = S_{GDS} = GDS$  – глобальна система резервування (бронювання);  $S_{3.3} = S_{IDS} = IDS$  – Інтернет системи бронювання (Internet Distribution Systems, IDS) або альтернативні системи бронювання (Alternative Distribution Systems, ADS);  $S_{3.4} = S_{BSP} = BSP$  – система взаєморозрахунків;  $S_{3.5} = S_{DCS} = DCS$  – системи управління відправками згідно [10]. Представлення множин систем  $i$ -ї категорії КАІС згідно табл. 2.1 відображено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Представлення множин систем  $i$ -ї категорії КАІС

Множина категорій (I) $S_i (i = \overline{1, n})$	Множина категорій (IO) $S_i (i = \overline{1, n})$	Кількість систем $i$ -ї категорії – $j$ ( $j = \overline{1, m_i}$ )	Множини систем (I) $S_{ij} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i})$	Множини систем (IO) $S_{ij} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i})$
$S_1$	<b>ISAO</b>	$m_1 = 5$	$S_{1.1}, S_{1.2}, S_{1.3}, S_{1.4}, S_{1.5}$	<b>SAE, RZZP, 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,</b> <b>SSPZ, OSL, SVI, ABSK</b>
$S_3$	<b>ISAA</b>	$m_3 = 5$	$S_{3.1}, S_{3.2}, S_{3.3}, S_{3.4}, S_{3.5}$	<b>CRS, GDS, IDS, BSP, DCS</b>

Також визначена множина систем може бути представлена за допомогою редактора Protégé у вигляді онтології (рис. 2.3), що відображає ієрархію множин систем та відношення між ними.



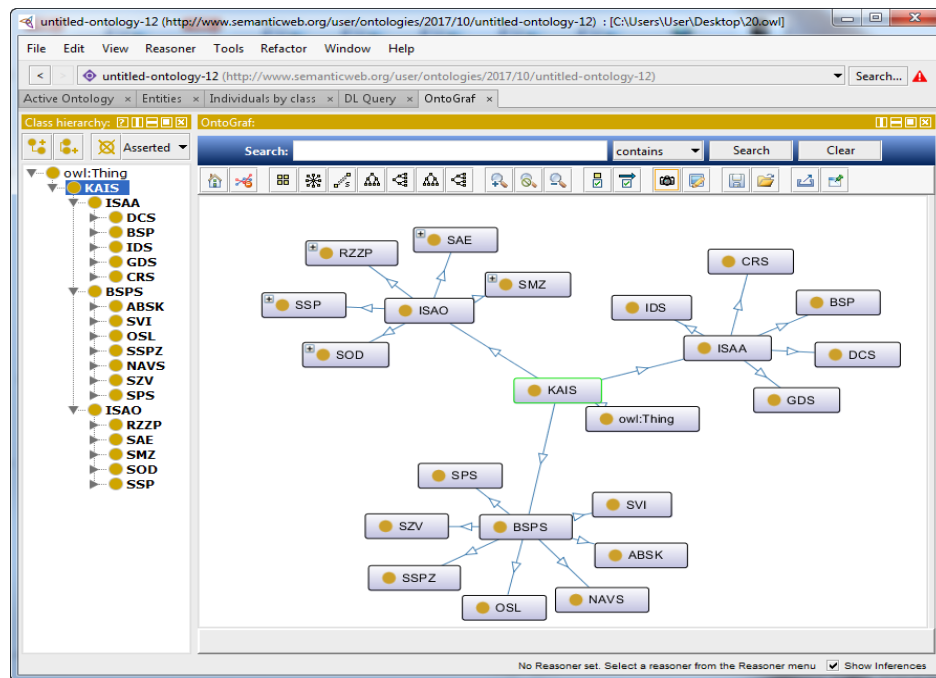


Рис. 2.3. Представлення ієрархії систем КАІС

Для множини  $\mathbf{S}_{1,1}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 1$ ,  $r_{1,1} = 5$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{1,1} = \mathbf{S}_{SAE} = \mathbf{SAE} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^5 S_{1,1,k} \right\} = \{S_{1,1,1}, S_{1,1,2}, S_{1,1,3}, S_{1,1,4}, S_{1,1,5}\} = \\ &= \{S_{SAPE}, S_{SANE}, S_{ZAR}, S_{SASZ}, S_{MTM}\} = \{SAPE, SANE, ZAR, SASZ, MTM\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1,1,1} = S_{SAPE} = SAPE$  – системи авіаційного повітряного електрозв'язку;  
 $S_{1,1,2} = S_{SANE} = SANE$  – системи та мережі авіаційного наземного електрозв'язку;  
 $S_{1,1,3} = S_{ZAR} = ZAR$  – засоби авіаційного радіомовлення;  
 $S_{1,1,4} = S_{SASZ} = SASZ$  – системи авіаційного супутникового зв'язку;  
 $S_{1,1,5} = S_{MTM} = MTM$  – магістральні телекомунікаційні мережі згідно [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{1,2}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 2$ ,  $r_{1,2} = 4$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{1,2} = \mathbf{S}_{RZZP} = \mathbf{RZZP} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^4 S_{1,2,k} \right\} = \{S_{1,2,1}, S_{1,2,2}, S_{1,2,3}, S_{1,2,4}\} = \\ &= \{S_{NDB}, S_{VOR}, S_{DME}, S_{ILS}\} = \{NDB, VOR, DME, ILS\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.2.1} = S_{\text{NDB}} = \text{NDB}$  – ненаправлені радіомаяки (Non-Directional Beacons, NDB);  $S_{1.2.2} = S_{\text{VOR}} = \text{VOR}$  – всенаправлені радіомаяки (Very High Frequency Omni-Directional Range, VOR);  $S_{1.2.3} = S_{\text{DME}} = \text{DME}$  – далекомірні радіомаяки (Distance Measuring Equipment, DME);  $S_{1.2.4} = S_{\text{ILS}} = \text{ILS}$  – радіомаячні системи посадки (Instrument Landing Systems, ILS) згідно [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{1.3}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 3$ ,  $r_{1.3} = 9$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{1.3} = \mathbf{S}_{\text{SSP}} = \mathbf{SSP} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^9 S_{1.3.k} \right\} = \{S_{1.3.1}, S_{1.3.2}, S_{1.3.3}, S_{1.3.4}, S_{1.3.5}, S_{1.3.6}, S_{1.3.7}, S_{1.3.8}, S_{1.3.9}\} = \\ &= \{S_{\text{PSR}}, S_{\text{SSR}}, S_{\text{MSSR}}, S_{\text{RADS}}, S_{\text{SMR}}, S_{\text{WRAD}}, S_{\text{MLAT}}, S_{\text{ADS}}, S_{\text{DF}}\} = \\ &= \{PSR, SSR, MSSR, RADS, SMR, WRAD, MLAT, ADS, DF\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.3.1} = S_{\text{PSR}} = \text{PSR}$  – первинні оглядові радіолокатори (Primary Surveillance Radars, PSR);  $S_{1.3.2} = S_{\text{SSR}} = \text{SSR}$  – вторинні оглядові радіолокатори (Secondary Surveillance Radars, SSR);  $S_{1.3.3} = S_{\text{MSSR}} = \text{MSSR}$  – моноімпульсні вторинні оглядові радіолокатори (Monopulse Secondary Surveillance Radars, MSSR);  $S_{1.3.4} = S_{\text{RADS}} = \text{RADS}$  – радіолокаційні комплекси у складі первинних та вторинних радіолокаторів (Radar Sites, PSR+ SSR);  $S_{1.3.5} = S_{\text{SMR}} = \text{SMR}$  – радіолокатори огляду льотного поля (Surface Movement Radars, SMR);  $S_{1.3.6} = S_{\text{WRAD}} = \text{WRAD}$  – метеорологічні радіолокатори (Weather Radars);  $S_{1.3.7} = S_{\text{MLAT}} = \text{MLAT}$  – мультилатераційні системи (Multilateration Systems, MLAT);  $S_{1.3.8} = S_{\text{ADS}} = \text{ADS}$  – наземні станції систем автоматичного залежного спостереження (Automatic Dependent Surveillance, ADS);  $S_{1.3.9} = S_{\text{DF}} = \text{DF}$  – автоматичні радіопеленгатори (Direction Finders, DF) згідно [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{1.4}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 4$ ,  $r_{1.4} = 5$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\mathbf{S}_{1.4} = \mathbf{S}_{\text{SOD}} = \mathbf{SOD} = \left\{ \bigcup_{k=1}^5 S_{1.4.k} \right\} = \{S_{1.4.1}, S_{1.4.2}, S_{1.4.3}, S_{1.4.4}, S_{1.4.5}\} =$$

$$= \{S_{ASYPR}, S_{SPPP}, S_{ESAN}, S_{SOPD}, S_{SOPA}\} = \{ASYPR, SPPP, ESAN, SOPD, SOPA\},$$

де  $S_{1.4.1} = S_{ASYPR} = ASYPR$  – автоматизовані системи управління повітряним рухом (АС УПР);  $S_{1.4.2} = S_{SPPP} = SPPP$  – автоматизовані системи планування використання повітряного простору;  $S_{1.4.3} = S_{ESAN} = ESAN$  – централізовані системи обробки та розповсюдження даних спостереження Європейської організації з безпеки аеронавігації EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation);  $S_{1.4.4} = S_{SOPD} = SOPD$  – системи обробки та передачі польотних даних;  $S_{1.4.5} = S_{SOPA} = SOPA$  – системи обробки та передачі аеронавігаційної інформації згідно [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{1.5}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$ ,  $r_{1.5} = 3$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{1.5} &= \mathbf{S}_{SMZ} = \mathbf{SMZ} = \left\{ \bigcup_{k=1}^3 S_{1.5.k} \right\} = \{S_{1.5.1}, S_{1.5.2}, S_{1.5.3}\} = \\ &= \{S_{SCMAU}, S_{KRAMS}, S_{SADIS}\} = \{SCMAU, KRAMS, SADIS\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.5.1} = S_{SCMAU} = SCMAU$  – система централізованого метеозабезпечення аеронавігації Украероруху;  $S_{1.5.2} = S_{KRAMS} = KRAMS$  – комплексні радіотехнічні аеродромні метеорологічні станції (КРАМС);  $S_{1.5.3} = S_{SADIS} = SADIS$  – супутникова система розповсюдження інформації для аеронавігації (Satellite Distribution System for Information Relating to Air Navigation, SADIS) згідно [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{2.1}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 1$ ,  $r_{2.1} = 4$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{2.1} &= \mathbf{S}_{SPS} = \mathbf{SPS} = \left\{ \bigcup_{k=1}^4 S_{2.1.k} \right\} = \{S_{2.1.1}, S_{2.1.2}, S_{2.1.3}, S_{2.1.4}\} = \\ &= \{S_{DPPT}, S_{DZP}, S_{TPT}, S_{POP}\} = \{DPPT, DZP, TPT, POP\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.1.1} = S_{DPPT} = DPPT$  – датчики-приймачі повітряного тиску;  $S_{2.1.2} = S_{DZP} = DZP$  – датчики загальмованого потоку;  $S_{2.1.3} = S_{TPT} = TPT$  –

датчики трубопроводів передачі тиску;  $S_{2.1.4} = S_{POP} = POP$  – прилади обробки і перетворення інформації в електричні сигнали згідно [11].

Аналогічно, для множини  $S_{2.2}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 2$ ,  $r_{2.2} = 3$ , з використанням (2.4), представимо множини підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{2.2} &= S_{SZV} = SZV = \left\{ \bigcup_{k=1}^3 S_{2.2.k} \right\} = \{S_{2.2.1}, S_{2.2.2}, S_{2.2.3}\} = \\ &= \{S_{BRS}, S_{CPDLS}, S_{AKARS}\} = \{BRS, CPDLS, AKARS\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.2.1} = S_{BRS} = BRS$  – бортові радіостанції;  $S_{2.2.2} = S_{CPDLS} = CPDLS$  – обладнання для передачі даних CPDLS;  $S_{2.2.3} = S_{AKARS} = AKARS$  – обладнання для передачі даних ACARS згідно [10].

Аналогічно, для множини  $S_{2.3}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $r_{2.3} = 8$ , з використанням (2.4), представимо множини підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{2.3} &= S_{NAVS} = NAVS = \left\{ \bigcup_{k=1}^8 S_{2.3.k} \right\} = \{S_{2.3.1}, S_{2.3.2}, S_{2.3.3}, S_{2.3.4}, S_{2.3.5}, S_{2.3.6}, S_{2.3.7}, S_{2.3.8}\} = \\ &= \{S_{SNS}, S_{ISN}, S_{ARK}, S_{RV}, S_{BVOR}, S_{BD}, S_{BILS}, S_{DVKZ}\} = \\ &= \{SNS, INS, ARK, RV, BVOR, BD, BILS, DVKZ\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.3.1} = S_{SNS} = SNS$  – супутникові навігаційні системи (СНС);  $S_{2.3.2} = S_{ISN} = INS$  – інерціальні навігаційні системи (ІНС);  $S_{2.3.3} = S_{ARK} = ARK$  – автоматичні радіокомпаси (АРК);  $S_{2.3.4} = S_{RV} = RV$  – радіовисотоміри (РВ);  $S_{2.3.5} = S_{BVOR} = BVOR$  – бортове обладнання системи VOR;  $S_{2.3.6} = S_{BD} = BD$  – бортові далекоміри;  $S_{2.3.7} = S_{BILS} = BILS$  – бортове обладнання системи ILS;  $S_{2.3.8} = S_{DVKZ} = DVKZ$  – доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу згідно [10].

Аналогічно, для множини  $S_{2.4}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 4$ ,  $r_{2.4} = 4$ , з використанням (2.4), представимо множини підсистем таким чином:

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

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

Аналогічно, для множини  $S_{2.5}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 5$ ,  $r_{2.5} = 2$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$S_{2.5} = S_{OSL} = OSL = \left\{ \bigcup_{k=1}^2 S_{2.5.k} \right\} = \{S_{2.5.1}, S_{2.5.2}\} = \{S_{OBCH}, S_{MCDU}\} = \{OBCH, MCDU\},$$

де  $S_{2.5.1} = S_{OBCH} = OBCH$  – обчислювачі;  $S_{2.5.2} = S_{MCDU} = MCDU$  – багатофункціональні блоки контролю та відображення (Multifunction Control and Display Unit — MCDU) згідно [12].

Аналогічно, для множини  $S_{2.6}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 6$ ,  $r_{2.6} = 5$ , з використанням (2.4) представимо множину підсистем таким чином:

$$S_{2.6} = S_{SVI} = SVI = \left\{ \bigcup_{k=1}^5 S_{2.6.k} \right\} = \{S_{2.6.1}, S_{2.6.2}, S_{2.6.3}, S_{2.6.4}, S_{2.6.5}\} = \\ = \{S_{DBSVS}, S_{DSVS}, S_{OSVS}, S_{NSVSO}, S_{ISVS}\} = \{DBSVS, DSVS, OSVS, NSVSO, ISVS\},$$

де  $S_{2.6.1} = S_{DBSVS} = DBSVS$  – датчики та бази даних системи SVS (Synthetic Vision System – система синтетичного бачення);  $S_{2.6.2} = S_{DSVS} = DSVS$  – дисплеї SVS;  $S_{2.6.3} = S_{OSVS} = OSVS$  – обчислювачі SVS;  $S_{2.6.4} = S_{NSVSO} = NSVSO$  – необхідне SVS обладнання;  $S_{2.6.5} = S_{ISVS} = ISVS$  – інші системи відображення інформації згідно [13].

Аналогічно, для множини  $S_{2.7}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 7$ ,  $r_{2.7} = 4$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$S_{2.7} = S_{ABSK} = ABSK = \left\{ \bigcup_{k=1}^4 S_{2.7.k} \right\} = \{S_{2.7.1}, S_{2.7.2}, S_{2.7.3}, S_{2.7.4}\} = \\ = \{S_{APIL}, S_{SAU}, S_{PILS}, S_{PNK}\} = \{APIL, SAU, PILS, PNK\},$$

де  $S_{2.7.1} = S_{APIL} = APIL$  – автопілоти;  $S_{2.7.2} = S_{SAU} = SAU$  – системи автоматичного управління;  $S_{2.7.3} = S_{PILS} = PILS$  – пілотажні системи;  $S_{2.7.4} = S_{PNK} = PNK$  – пілотажно-навігаційні комплекси згідно [14].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{3,1}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 1$ ,  $r_{3,1} = 2$ , з використанням (2.4) представимо множину підсистем таким чином:

$$\mathbf{S}_{3,1} = \mathbf{S}_{\text{CRS}} = \mathbf{CRS} = \left\{ \bigcup_{k=1}^2 S_{3,1,k} \right\} = \{S_{3,1,1}, S_{3,1,2}\} = \{S_{\text{DELTM}}, S_{\text{PANAM}}\} = \{DELTM, PANAM\},$$

де  $S_{3,1,1} = S_{\text{DELTM}} = DELTM$  – уніфікована система Deltamatic фірми «Delta»;  $S_{3,1,2} = S_{\text{PANAM}} = PANAM$  – уніфікована система Pana-Mac фірми «Pan Am» згідно [15].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{3,2}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 2$ ,  $r_{3,2} = 18$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{3,2} = \mathbf{S}_{\text{GDS}} = \mathbf{GDS} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^{18} S_{3,2,k} \right\} = \\ &= \{S_{3,2,1}, S_{3,2,2}, S_{3,2,3}, S_{3,2,4}, S_{3,2,5}, S_{3,2,6}, S_{3,2,7}, S_{3,2,8}, S_{3,2,9}, S_{3,2,10}, S_{3,2,11}, S_{3,2,12}, S_{3,2,13}, S_{3,2,14}, S_{3,2,15}, S_{3,2,16}, S_{3,2,17}, S_{3,2,18}\} = \\ &= \{S_{\text{AMDS}}, S_{\text{TGDS}}, S_{\text{SAB}}, S_{\text{TRES}}, S_{\text{APSS}}, S_{\text{ABCS}}, S_{\text{ACA}}, S_{\text{AXS}}, S_{\text{IBE}}, S_{\text{KUI}}, S_{\text{MER}}, S_{\text{NAV}}, S_{\text{PATH}}, S_{\text{RAD}}, S_{\text{AKF}}, S_{\text{TTI}}, S_{\text{WSMS}}, S_{\text{SIR}}\} = \\ &= \{AMDS, TGDS, SAB, TRES, APSS, ABCS, ACA, AXS, IBE, KUI, MER, NAV, PATH, RAD, AKF, TTI, WSMS, SIR\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3,2,1} = S_{\text{AMDS}} = AMDS$  – Amadeus;  $S_{3,2,2} = S_{\text{TGDS}} = TGDS$  – Travelport GDS;  $S_{3,2,3} = S_{\text{SAB}} = SAB$  – Sabre;  $S_{3,2,4} = S_{\text{TRES}} = TRES$  – TameliaRES;  $S_{3,2,5} = S_{\text{APSS}} = APSS$  – Avantik PSS;  $S_{3,2,6} = S_{\text{ABCS}} = ABCS$  – Abacus;  $S_{3,2,7} = S_{\text{ACA}} = ACA$  – AccelAero;  $S_{3,2,8} = S_{\text{AXS}} = AXS$  – Axess;  $S_{3,2,9} = S_{\text{IBE}} = IBE$  – Internet Booking Engine;  $S_{3,2,10} = S_{\text{KUI}} = KUI$  – KIU;  $S_{3,2,11} = S_{\text{MER}} = MER$  – Mercator;  $S_{3,2,12} = S_{\text{NAV}} = NAV$  – Navitaire;  $S_{3,2,13} = S_{\text{PATH}} = PATH$  – Patheo;  $S_{3,2,14} = S_{\text{RAD}} = RAD$  – Radixx;  $S_{3,2,15} = S_{\text{AKF}} = AKF$  – Akeflite;  $S_{3,2,16} = S_{\text{TTI}} = TTI$  – Travel Technology Interactive;  $S_{3,2,17} = S_{\text{WSMS}} = WSMS$  – WorldTicket Sell-More-Seats;  $S_{3,2,18} = S_{\text{SIR}} = SIR$  – Сирена [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{3,3}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 3$ ,  $r_{3,3} = 8$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{3,3} = \mathbf{S}_{\text{IDS}} = \mathbf{IDS} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^8 S_{3,3,k} \right\} = \{S_{3,3,1}, S_{3,3,2}, S_{3,3,3}, S_{3,3,4}, S_{3,3,5}, S_{3,3,6}, S_{3,3,7}, S_{3,3,8}\} = \\ &= \{S_{\text{BKNG}}, S_{\text{OKT}}, S_{\text{EXP}}, S_{\text{ORB}}, S_{\text{HRS}}, S_{\text{TRAV}}, S_{\text{HOT}}, S_{\text{PRLN}}\} = \\ &= \{BKNG, OKT, EXP, ORB, HRS, TRAV, HOT, PRLN\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.3.1} = S_{\text{BKNG}} = \text{BKNG}$  – Booking.com;  $S_{3.3.2} = S_{\text{OKT}} = \text{OKT}$  – Oktogo;  $S_{3.3.3} = S_{\text{EXP}} = \text{EXP}$  – Expedia.com;  $S_{3.3.4} = S_{\text{ORB}} = \text{ORB}$  – Orbitz.com;  $S_{3.3.5} = S_{\text{HRS}} = \text{HRS}$  – HRS.com;  $S_{3.3.6} = S_{\text{TRAV}} = \text{TRAV}$  – Travelocity.com;  $S_{3.3.7} = S_{\text{HOT}} = \text{HOT}$  – Hotels.com;  $S_{3.3.8} = S_{\text{PRLN}} = \text{PRLN}$  – Priceline.com [10].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{3.4}$ , при  $n=3$ ,  $m_3=4$ ,  $r_{3.4}=8$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{3.4} = \mathbf{S}_{\text{BSP}} = \mathbf{BSP} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^8 S_{3.4.k} \right\} = \{S_{3.4.1}, S_{3.4.2}, S_{3.4.3}, S_{3.4.4}, S_{3.4.5}, S_{3.4.6}, S_{3.4.7}, S_{3.4.8}\} = \\ &= \{S_{\text{STD}}, S_{\text{SAF}}, S_{\text{ODOC}}, S_{\text{ZVPR}}, S_{\text{PROCO}}, S_{\text{SABZ}}, S_{\text{PPKK}}, S_{\text{POV}}\} = \\ &= \{\text{STD}, \text{SAF}, \text{ODOC}, \text{ZVPR}, \text{PROCO}, \text{SABZ}, \text{PPKK}, \text{POV}\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.4.1} = S_{\text{STD}} = \text{STD}$  – стандартна перевізна документація (STD);  $S_{3.4.2} = S_{\text{SAF}} = \text{SAF}$  – стандартна адміністративна форма (SAF);  $S_{3.4.3} = S_{\text{ODOC}} = \text{ODOC}$  – система оформлення документів;  $S_{3.4.4} = S_{\text{ZVPR}} = \text{ZVPR}$  – система звітів по розрахункам;  $S_{3.4.5} = S_{\text{PROCO}} = \text{PROCO}$  – система процедури оплати;  $S_{3.4.6} = S_{\text{SABZ}} = \text{SABZ}$  – система санкцій, адміністративних та банківських зборів;  $S_{3.4.7} = S_{\text{PPKK}} = \text{PPKK}$  – система продажу по кредитних картах;  $S_{3.4.8} = S_{\text{POV}} = \text{POV}$  – система повернення квитків згідно [16].

Аналогічно, для множини  $\mathbf{S}_{3.5}$ , при  $n=3$ ,  $m_3=5$ ,  $r_{3.5}=5$ , з використанням (2.4), представимо множину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{3.5} = \mathbf{S}_{\text{DCS}} = \mathbf{DCS} &= \left\{ \bigcup_{k=1}^5 S_{3.5.k} \right\} = \{S_{3.5.1}, S_{3.5.2}, S_{3.5.3}, S_{3.5.4}, S_{3.5.5}\} = \\ &= \{S_{\text{SITA}}, S_{\text{TAIS}}, S_{\text{SAMDS}}, S_{\text{JKCS}}, S_{\text{HCS}}\} = \{\text{SITA}, \text{TAIS}, \text{SAMDS}, \text{JKCS}, \text{HCS}\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.5.1} = S_{\text{SITA}} = \text{SITA}$  – SITA;  $S_{3.5.2} = S_{\text{TAIS}} = \text{TAIS}$  – TAIS;  $S_{3.5.3} = S_{\text{SAMDS}} = \text{SAMDS}$  – системи від Amadeus;  $S_{3.5.4} = S_{\text{JKCS}} = \text{JKCS}$  – John Keells Computer Services;  $S_{3.5.5} = S_{\text{HCS}} = \text{HCS}$  – Hitit Computer Services [10].

Представлення множин підсистем  $ij$ -ї системи згідно табл. 2.2 відображено у табл. 2.6.

Представлення множин підсистем  $ij$ -ї системи КАІС

Множини систем (I) $S_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ )	Множини систем (IO) $S_{ij}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ )	Кількість підсистем $ij$ -ї системи – $k$ ( $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Множини підсистем (I) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )	Множини підсистем (IO) $S_{ijk}$ ( $i = \overline{1, n}$ , $j = \overline{1, m_i}$ , $k = \overline{1, r_{ij}}$ )
$S_{1.1}$	<b>SAE</b>	$r_{1.1} = 5$	$S_{1.1.1}, S_{1.1.2}, S_{1.1.3}, S_{1.1.4}, S_{1.1.5}$	<i>SAPE, SANE, ZAR, SASZ, MTM</i>
$S_{1.2}$	<b>RZPP</b>	$r_{1.2} = 4$	$S_{1.2.1}, S_{1.2.2}, S_{1.2.3}, S_{1.2.4}$	<i>NDB, VOR, DME, ILS</i>
$S_{1.3}$	<b>SSP</b>	$r_{1.3} = 9$	$S_{1.3.1}, S_{1.3.2}, S_{1.3.3}, S_{1.3.4}, S_{1.3.5},$ $S_{1.3.6}, S_{1.3.7}, S_{1.3.8}, S_{1.3.9}$	<i>PSR, SSR, MSSR, RADS, SMR,</i> <i>WRAD, MLAT, ADS, DF</i>
$S_{1.4}$	<b>SOD</b>	$r_{1.4} = 5$	$S_{1.4.1}, S_{1.4.2}, S_{1.4.3}, S_{1.4.4}, S_{1.4.5}$	<i>ASYPR, SPPP, ESAN, SOPD, SOPA</i>
$S_{1.5}$	<b>SMZ</b>	$r_{1.5} = 3$	$S_{1.5.1}, S_{1.5.2}, S_{1.5.3}$	<i>SCMAU, KRAMS, SADIS</i>
$S_{2.1}$	<b>SPS</b>	$r_{2.1} = 4$	$S_{2.1.1}, S_{2.1.2}, S_{2.1.3}, S_{2.1.4}$	<i>DPPT, DZP, TPT, POP</i>
$S_{2.2}$	<b>SZV</b>	$r_{2.2} = 3$	$S_{2.2.1}, S_{2.2.2}, S_{2.2.3}$	<i>BRS, CPDLS, AKARS</i>
$S_{2.3}$	<b>NAVS</b>	$r_{2.3} = 8$	$S_{2.3.1}, S_{2.3.2}, S_{2.3.3}, S_{2.3.4},$ $S_{2.3.5}, S_{2.3.6}, S_{2.3.7}, S_{2.3.8}$	<i>SNS, INS, ARK, RV,</i> <i>BVOR, BD, BILS, DVKZ</i>
$S_{2.4}$	<b>SSPZ</b>	$r_{2.4} = 4$	$S_{2.4.1}, S_{2.4.2}, S_{2.4.3}, S_{2.4.4}$	<i>TRA, TCAS, SRPZ, BMR</i>
$S_{2.5}$	<b>OSL</b>	$r_{2.5} = 2$	$S_{2.5.1}, S_{2.5.2}$	<i>OBCH, MCDU</i>
$S_{2.6}$	<b>SVI</b>	$r_{2.6} = 5$	$S_{2.6.1}, S_{2.6.2}, S_{2.6.3}, S_{2.6.4}, S_{2.6.5}$	<i>DBSVS, DSVS, OSVS, NSVSO, ISVS</i>
$S_{2.7}$	<b>ABSK</b>	$r_{2.7} = 4$	$S_{2.7.1}, S_{2.7.2}, S_{2.7.3}, S_{2.7.4}$	<i>APIL, SAU, PILS, PNK</i>
$S_{3.1}$	<b>CRS</b>	$r_{3.1} = 2$	$S_{3.1.1}, S_{3.1.2}$	<i>DELTM, PANAM</i>
$S_{3.2}$	<b>GDS</b>	$r_{3.2} = 18$	$S_{3.2.1}, S_{3.2.2}, S_{3.2.3}, S_{3.2.4}, S_{3.2.5},$ $S_{3.2.6}, S_{3.2.7}, S_{3.2.8}, S_{3.2.9}, S_{3.2.10},$ $S_{3.2.11}, S_{3.2.12}, S_{3.2.13}, S_{3.2.14},$ $S_{3.2.15}, S_{3.2.16}, S_{3.2.17}, S_{3.2.18}$	<i>AMDS, TGDS, SAB, TRES, APSS,</i> <i>ABCS, ACA, AXS, IBE, KUI,</i> <i>MER, NAV, PATH, RAD,</i> <i>AKF, TTI, WSMS, SIR</i>
$S_{3.3}$	<b>IDS</b>	$r_{3.3} = 8$	$S_{3.3.1}, S_{3.3.2}, S_{3.3.3}, S_{3.3.4},$ $S_{3.3.5}, S_{3.3.6}, S_{3.3.7}, S_{3.3.8}$	<i>BKNG, OKT, EXP, ORB,</i> <i>HRS, TRAV, HOT, PRLN</i>
$S_{3.4}$	<b>BSP</b>	$r_{3.4} = 8$	$S_{3.4.1}, S_{3.4.2}, S_{3.4.3}, S_{3.4.4},$ $S_{3.4.5}, S_{3.4.6}, S_{3.4.7}, S_{3.4.8}$	<i>STD, SAF, ODOC, ZVPR,</i> <i>PROCO, SABZ, PPKK, POV</i>
$S_{3.5}$	<b>DCS</b>	$r_{3.5} = 5$	$S_{3.5.1}, S_{3.5.2}, S_{3.5.3}, S_{3.5.4}, S_{3.5.5}$	<i>SITA, TAIS, SAMDS, JKCS, HCS</i>

Також визначена множина підсистем може бути представлена за допомогою редактора Protégé у вигляді онтології, але у зв'язку з тим, що визначену кількість множин підсистем (97 підсистем) важко відобразити у вигляді ієрархії на рис. 2.4 відображений лише її фрагмент.



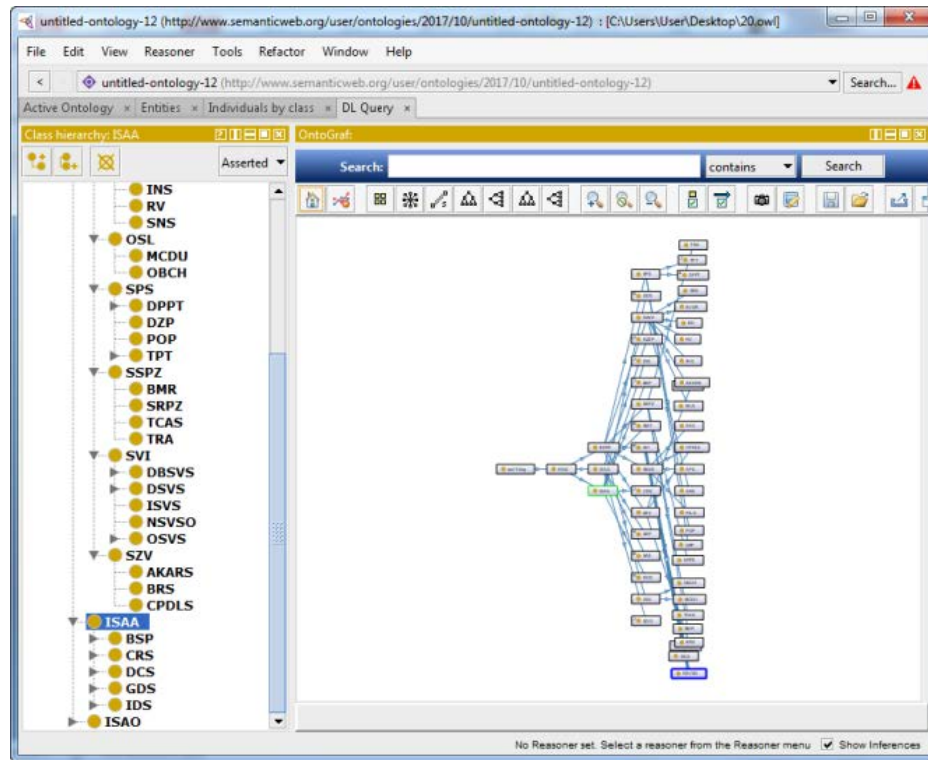


Рис. 2.4. Представлення ієрархії множин підсистем КАІС

Для множини підсистем  $S_{1.1.1}$ , при  $n=1$ ,  $m_1=1$ ,  $r_{1.1}=1$ ,  $v_{1.1.2}=3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{1.1.1} &= S_{SAPE} = SAPE = \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{1.1.1.p} \right\} = \{S_{1.1.1.1}, S_{1.1.1.2}, S_{1.1.1.3}\} = \\ &= \{S_{NRPZ}, S_{CPDLC}, S_{ACARS}\} = \{NRPZ, CPDLC, ACARS\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.1.1.1} = S_{NRPZ} = NRPZ$  – наземні засоби радіозв'язку «повітря – земля»;  $S_{1.1.1.2} = S_{CPDLC} = CPDLC$  – обладнання для передачі даних Controller-Pilot Data Link Communications (CPDLC);  $S_{1.1.1.3} = S_{ACARS} = ACARS$  – обладнання для передачі даних Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS) згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.1.2}$ , при  $n=1$ ,  $m_1=1$ ,  $r_{1.1}=2$ ,  $v_{1.1.1}=6$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{1.1.2} &= S_{SANE} = SANE = \left\{ \bigcup_{p=1}^6 S_{1.1.2.p} \right\} = \{S_{1.1.2.1}, S_{1.1.2.2}, S_{1.1.2.3}, S_{1.1.2.4}, S_{1.1.2.5}, S_{1.1.2.6}\} = \\ &= \{S_{ZPRZZ}, S_{SCGZ}, S_{ZRZ}, S_{AFTN}, S_{AMHS}, S_{MOD}\} = \{ZPRZZ, SCGZ, ZRZ, AFTN, AMHS, MOD\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.1.2.1} = S_{ZPRZZ} = ZPRZZ$  – засоби проводового (оперативного і телефонного) та радіозв'язку «земля – земля»;  $S_{1.1.2.2} = S_{SCGZ} = SCGZ$  – системи комутації голосового зв'язку;  $S_{1.1.2.3} = S_{ZRZ} = ZRZ$  – засоби радіорелейного зв'язку;  $S_{1.1.2.4} = S_{AFTN} = AFTN$  – мережа авіаційного фіксованого електрозв'язку (Aeronautical Fixed Telecommunication Network, AFTN);  $S_{1.1.2.5} = S_{AMHS} = AMHS$  – системи обміну повідомленнями обслуговування повітряного руху (Air Traffic Service Message Handling System, AMHS);  $S_{1.1.2.6} = S_{MOD} = MOD$  – мережі обміну даними згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.1.3}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 1$ ,  $r_{1.1} = 3$ ,  $v_{1.1.3} = 2$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$S_{1.1.3} = S_{ZAR} = ZAR = \left\{ \bigcup_{p=1}^2 S_{1.1.3.p} \right\} = \{S_{1.1.3.1}, S_{1.1.3.2}\} = \{S_{VOLM}, S_{ATIS}\} = \{VOLM, ATIS\},$$

де  $S_{1.1.3.1} = S_{VOLM} = VOLM$  – обладнання ДВЧ-радіомовних передач типів VOLMET;

$S_{1.1.3.2} = S_{ATIS} = ATIS$  – обладнання ДВЧ-радіомовних передач типів ATIS згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.2.1}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 2$ ,  $r_{1.2} = 1$ ,  $v_{1.2.1} = 4$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$S_{1.2.1} = S_{NDB} = NDB = \left\{ \bigcup_{p=1}^4 S_{1.2.1.p} \right\} = \{S_{1.2.1.1}, S_{1.2.1.2}, S_{1.2.1.3}, S_{1.2.1.4}\} = \\ = \{S_{SHNDB}, S_{PNDB}, S_{LLOC}, S_{LOC}\} = \{SHNDB, PNDB, LLOC, LOC\},$$

де  $S_{1.2.1.1} = S_{SHNDB} = SHNDB$  – шляхові NDB, які використовуються для позначення повітряних шляхів;  $S_{1.2.1.2} = S_{PNDB} = PNDB$  – підходні NDB;  $S_{1.2.1.3} = S_{LLOC} = LLOC$  – лайнери локалізатора;  $S_{1.2.1.4} = S_{LOC} = LOC$  – локалізатори згідно [17].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.2.3}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 2$ ,  $r_{1.2} = 3$ ,  $v_{1.2.3} = 2$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$S_{1.2.3} = S_{DME} = DME = \left\{ \bigcup_{p=1}^2 S_{1.2.3.p} \right\} = \{S_{1.2.3.1}, S_{1.2.3.2}\} = \{S_{PDME}, S_{DYSCH}\} = \{PDME, DYSCH\},$$

де  $S_{1.2.3.1} = S_{PDME} = PDME$  – приймач DME;  $S_{1.2.3.2} = S_{DYSCH} = DYSCH$  – передатчики дуже високих частот, ультра високих частот та понад високих частот згідно [18].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{1.2.4}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 2$ ,  $r_{1.2} = 4$ ,  $v_{1.2.4} = 6$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{1.2.4} &= \mathbf{S}_{\text{ILS}} = \mathbf{ILS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^6 S_{1.2.4.p} \right\} = \{S_{1.2.4.1}, S_{1.2.4.2}, S_{1.2.4.3}, S_{1.2.4.4}, S_{1.2.4.5}, S_{1.2.4.6}\} = \\ &= \{S_{\text{AZRAD}}, S_{\text{GLRAD}}, S_{\text{DRAD}}, S_{\text{MRAD}}, S_{\text{AKSK}}, S_{\text{APPPS}}\} = \\ &= \{AZRAD, GLRAD, DRAD, MRAD, AKSK, APPPS\},\end{aligned}$$

де  $S_{1.2.4.1} = S_{\text{AZRAD}} = \text{AZRAD}$  – азимутальні радіомаяки;  $S_{1.2.4.2} = S_{\text{GLRAD}} = \text{GLRAD}$  – глісадні (кутомісцеві) радіомаяки;  $S_{1.2.4.3} = S_{\text{DRAD}} = \text{DRAD}$  – далекомірні радіомаяки;  $S_{1.2.4.4} = S_{\text{MRAD}} = \text{MRAD}$  – маркерні радіомаяки;  $S_{1.2.4.5} = S_{\text{AKSK}} = \text{AKSK}$  – апаратура контролю, сигналізації та керування;  $S_{1.2.4.6} = S_{\text{APPPS}} = \text{APPPS}$  – апаратура приймання, посилення та перетворення сигналів згідно [19].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{1.3.7}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 3$ ,  $r_{1.3} = 7$ ,  $v_{1.3.7} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{1.3.7} &= \mathbf{S}_{\text{MLAT}} = \mathbf{MLAT} = \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{1.3.7.p} \right\} = \{S_{1.3.7.1}, S_{1.3.7.2}, S_{1.3.7.3}\} = \\ &= \{S_{\text{PRST}}, S_{\text{STOBR}}, S_{\text{KVID}}\} = \{PRST, STOBR, KVID\},\end{aligned}$$

де  $S_{1.3.7.1} = S_{\text{PRST}} = \text{PRST}$  – приймальні станції;  $S_{1.3.7.2} = S_{\text{STOBR}} = \text{STOBR}$  – станції обробки;  $S_{1.3.7.3} = S_{\text{KVID}} = \text{KVID}$  – контрольний відповідач згідно [20].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{1.3.8}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 3$ ,  $r_{1.3} = 8$ ,  $v_{1.3.8} = 2$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\mathbf{S}_{1.3.8} = \mathbf{S}_{\text{ADS}} = \mathbf{ADS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^2 S_{1.3.8.p} \right\} = \{S_{1.3.8.1}, S_{1.3.8.2}\} = \{S_{\text{ADSO}}, S_{\text{ADSI}}\} = \{ADSO, ADSI\},$$

де  $S_{1.3.8.1} = S_{\text{ADSO}} = \text{ADSO}$  – ADS-B Out;  $S_{1.3.8.2} = S_{\text{ADSI}} = \text{ADSI}$  – ADS-B In згідно [21].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{1.4.1}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 4$ ,  $r_{1.4} = 1$ ,  $v_{1.4.1} = 7$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{1.4.1} &= \mathbf{S}_{\text{ASYPR}} = \mathbf{ASYPR} = \left\{ \bigcup_{p=1}^7 S_{1.4.1.p} \right\} = \{S_{1.4.1.1}, S_{1.4.1.2}, S_{1.4.1.3}, S_{1.4.1.4}, S_{1.4.1.5}, S_{1.4.1.6}, S_{1.4.1.7}\} = \\ &= \{S_{\text{ODSS}}, S_{\text{OPD}}, S_{\text{MKS}}, S_{\text{ZVI}}, S_{\text{KGZ}}, S_{\text{PPR}}, S_{\text{ZBP}}\} = \{ODSS, OPD, MKS, ZVI, KGZ, PPR, ZBP\},\end{aligned}$$

де  $S_{1.4.1.1} = S_{ODSS} = ODSS$  – обробки даних системи спостереження;  
 $S_{1.4.1.2} = S_{OPD} = OPD$  – обробки польотних даних;  $S_{1.4.1.3} = S_{MKS} = MKS$  –  
моніторингу та контролю систем;  $S_{1.4.1.4} = S_{ZVI} = ZVI$  – запису та відтворення  
інформації;  $S_{1.4.1.5} = S_{KGZ} = KGZ$  – комутації голосового зв'язку;  
 $S_{1.4.1.6} = S_{PPR} = PPR$  – підтримки прийняття рішень;  $S_{1.4.1.7} = S_{ZBP} = ZBP$  –  
забезпечення безпеки польотів згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.4.2}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 4$ ,  $r_{1.4} = 2$ ,  
 $v_{1.4.2} = 11$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{1.4.2} &= S_{SPPP} = \mathbf{SPPP} = \left\{ \bigcup_{p=1}^{11} S_{1.4.2.p} \right\} = \\ &= \{ S_{1.4.2.1}, S_{1.4.2.2}, S_{1.4.2.3}, S_{1.4.2.4}, S_{1.4.2.5}, S_{1.4.2.6}, S_{1.4.2.7}, S_{1.4.2.8}, S_{1.4.2.9}, S_{1.4.2.10}, S_{1.4.2.11} \} = \\ &= \{ S_{UIKR}, S_{FIR}, S_{UTA}, S_{TMA}, S_{AFIZ}, S_{ATZ}, S_{MOPR}, S_{FRA}, S_{PRDZ}, S_{UTZ}, S_{ZZOR} \} = \\ &= \{ UIKR, FIR, UTA, TMA, AFIZ, ATZ, MOPR, FRA, PRDZ, UTZ, ZZOR \}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.4.2.1} = S_{UIKR} = UIKR$  – верхній район польотної інформації (UIR KYIV);  
 $S_{1.4.2.2} = S_{FIR} = FIR$  – райони польотної інформації (FIR);  $S_{1.4.2.3} = S_{UTA} = UTA$  –  
диспетчерські райони та зони (UTA), в яких надається обслуговування  
повітряного руху;  $S_{1.4.2.4} = S_{TMA} = TMA$  – військові (TMA);  $S_{1.4.2.5} = S_{AFIZ} = AFIZ$   
– аеродромні зони польотної інформації (AFIZ);  $S_{1.4.2.6} = S_{ATZ} = ATZ$  – зони  
аеродромного руху (ATZ);  $S_{1.4.2.7} = S_{MOPR} = MOPR$  – маршрути ОПР, у тому  
числі спеціально виділені маршрути для перетинання державного кордону;  
 $S_{1.4.2.8} = S_{FRA} = FRA$  – повітряний простір вільних маршрутів (FRA);  
 $S_{1.4.2.9} = S_{PRDZ} = PRDZ$  – заборонені зони (P), зони обмеження польотів (R),  
небезпечні зони (D), де польоти повітряних суден заборонені або обмежуються;  
 $S_{1.4.2.10} = S_{UTZ} = UTZ$  – учбові та тренувальні зони;  $S_{1.4.2.11} = S_{ZZOR} = ZZOR$  – зони  
з особливим режимом використання повітряного простору згідно [22].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.4.3}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 4$ ,  $r_{1.4} = 3$ ,  
 $v_{1.4.3} = 2$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$S_{1.4.3} = S_{ESAN} = \mathbf{ESAN} = \left\{ \bigcup_{p=1}^2 S_{1.4.3.p} \right\} = \{ S_{1.4.3.1}, S_{1.4.3.2} \} = \{ S_{ARTAS}, S_{SDDS} \} = \{ ARTAS, SDDS \},$$

де  $S_{1.4.3.1} = S_{ARTAS} = ARTAS$  – ATM suRveillance Tracker And Server (ARTAS);  
 $S_{1.4.3.2} = S_{SDDS} = SDDS$  – Surveillance Data Distribution System (SDDS) згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.4.4}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 4$ ,  $r_{1.4} = 4$ ,  
 $v_{1.4.4} = 1$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$S_{1.4.4} = S_{SOPD} = \mathbf{SOPD} = \left\{ \bigcup_{p=1}^1 S_{1.4.4.p} \right\} = \{S_{1.4.4.1}\} = \{S_{IFPS}\} = \{IFPS\},$$

де  $S_{1.4.4.1} = S_{IFPS} = IFPS$  – EUROCONTROL Integrated Initial Flight Plan Processing System (IFPS) згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.5.2}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$ ,  $r_{1.5} = 2$ ,  
 $v_{1.5.2} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{1.5.2} = S_{KRAMS} = \mathbf{KRAMS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{1.5.2.p} \right\} = \{S_{1.5.2.1}, S_{1.5.2.2}, S_{1.5.2.3}, S_{1.5.2.4}, S_{1.5.2.5}\} = \\ &= \{S_{CSIS}, S_{SISBL}, S_{KANO}, S_{SISBP}, S_{DAT}\} = \{CSIS, SISBL, KANO, SOSBP, DAT\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.5.2.1} = S_{CSIS} = CSIS$  – центральна система;  $S_{1.5.2.2} = S_{SISBL} = SISBL$  – системні блоки ПЕВМ;  $S_{1.5.2.3} = S_{KANO} = KANO$  – каналоутворююче обладнання;  $S_{1.5.2.4} = S_{SISBP} = SOSBP$  – система безперебійного живлення;  $S_{1.5.2.5} = S_{DAT} = DAT$  – вимірювальні перетворювачі метеовелечин (датчики) згідно [23].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{1.5.3}$ , при  $n = 1$ ,  $m_1 = 5$ ,  $r_{1.5} = 3$ ,  
 $v_{1.5.3} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{1.5.3} = S_{SADIS} = \mathbf{SADIS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{1.5.3.p} \right\} = \{S_{1.5.3.1}, S_{1.5.3.2}, S_{1.5.3.3}, S_{1.5.3.4}, S_{1.5.3.5}\} = \\ &= \{S_{OKIK}, S_{COMS}, S_{ISDNS}, S_{PRSER}, S_{STAFF}\} = \{OKIK, COMS, ISDNS, PRSER, STAFF\}, \end{aligned}$$

де  $S_{1.5.3.1} = S_{OKIK} = OKIK$  – основні компоненти інфраструктури та комунікації системи SADIS;  $S_{1.5.3.2} = S_{COMS} = COMS$  – системи зв'язку;  $S_{1.5.3.3} = S_{ISDNS} = ISDNS$  – резервна система даних ISDN;  $S_{1.5.3.4} = S_{PRSER} = PRSER$  – придбані послуги;  $S_{1.5.3.5} = S_{STAFF} = STAFF$  – вимоги до персоналу згідно [24].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{2.1.1}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 1$ ,  $r_{2.1} = 1$ ,  
 $v_{2.1.1} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{2.1.1} = \mathbf{S}_{DPPT} = \mathbf{DPPT} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{2.1.1.p} \right\} = \{S_{2.1.1.1}, S_{2.1.1.2}, S_{2.1.1.3}\} = \\ &= \{S_{PST}, S_{PDT}, S_{KPPT}\} = \{PST, PDT, KPPT\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.1.1.1} = S_{PST} = PST$  – приймачі статистичного тиску;  $S_{2.1.1.2} = S_{PDT} = PDT$  – приймачі динамічного тиску;  $S_{2.1.1.3} = S_{KPPT} = KPPT$  – комбіновані приймачі повного тиску згідно [11].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.1.3}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 1$ ,  $r_{2.1} = 3$ ,  $v_{2.1.3} = 2$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\mathbf{S}_{2.1.3} = \mathbf{S}_{TPT} = \mathbf{TPT} = \left\{ \bigcup_{p=1}^2 S_{2.1.3.p} \right\} = \{S_{2.1.3.1}, S_{2.1.3.2}\} = \{S_{STATL}, S_{DYNL}\} = \{STATL, DYNL\},$$

де  $S_{2.1.3.1} = S_{STATL} = STATL$  – трубопроводів статистичних ліній;  $S_{2.1.3.2} = S_{DYNL} = DYNL$  – трубопроводів динамічних ліній згідно [11].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.2.3}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 2$ ,  $r_{2.2} = 3$ ,  $v_{2.2.3} = 4$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{2.2.3} = \mathbf{S}_{AKARS} = \mathbf{AKARS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^4 S_{2.2.3.p} \right\} = \{S_{2.2.3.1}, S_{2.2.3.2}, S_{2.2.3.3}, S_{2.2.3.4}\} = \\ &= \{S_{BPULK}, S_{INDIS}, S_{ANTEN}, S_{RPRC}\} = \{BPULC, INDIS, ANTEN, RPRC\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.2.3.1} = S_{BPULK} = BPULC$  – бортовий пульт керування;  $S_{2.2.3.2} = S_{INDIS} = INDIS$  – інтерактивний дисплей;  $S_{2.2.3.3} = S_{ANTEN} = ANTEN$  – антена-приймач;  $S_{2.2.3.4} = S_{RPRC} = RPRC$  – радіоприймальний центр згідно [25].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.3.1}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $r_{2.3} = 1$ ,  $v_{2.3.1} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{2.3.1} = \mathbf{S}_{SNS} = \mathbf{SNS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{2.3.1.p} \right\} = \{S_{2.3.1.1}, S_{2.3.1.2}, S_{2.3.1.3}\} = \\ &= \{S_{SHSPZ}, S_{KSPST}, S_{GPSR}\} = \{SHSPZ, KSPST, GPSR\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.3.1.1} = S_{SHSPZ} = SHSPZ$  – штучні супутники Землі;  $S_{2.3.1.2} = S_{KSPST} = KSPST$  – контрольно-спостережні станції;  $S_{2.3.1.3} = S_{GPSR} = GPSR$  – GPS-приймачі згідно [26].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.3.2}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $r_{2.3} = 2$ ,  $v_{2.3.2} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.3.2} &= \mathbf{S}_{\text{INS}} = \mathbf{INS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{2.3.2.p} \right\} = \{S_{2.3.2.1}, S_{2.3.2.2}, S_{2.3.2.3}\} = \\ &= \{S_{\text{AXEL}}, S_{\text{GIRPR}}, S_{\text{EOMPR}}\} = \{ALEX, GIRPR, EOMPR\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.3.2.1} = S_{\text{AXEL}} = ALEX$  – акселерометри (датчики лінійного прискорення);  $S_{2.3.2.2} = S_{\text{GIRPR}} = GIRPR$  – гіроскопічні пристрої, що відтворюють на об'єкті систему відліку і дозволяють визначати кути повороту і нахилу об'єкта;  $S_{2.3.2.3} = S_{\text{EOMPR}} = EOMPR$  – електро-обчислювальні пристрої, які за прискореннями знаходять швидкість об'єкту, його координати і інші параметри руху згідно [27].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.3.3}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $r_{2.3} = 3$ ,  $v_{2.3.3} = 10$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.3.3} &= \mathbf{S}_{\text{ARK}} = \mathbf{ARK} = \left\{ \bigcup_{p=1}^{10} S_{2.3.3.p} \right\} = \\ &= \{S_{2.3.3.1}, S_{2.3.3.2}, S_{2.3.3.3}, S_{2.3.3.4}, S_{2.3.3.5}, S_{2.3.3.6}, S_{2.3.3.7}, S_{2.3.3.8}, S_{2.3.3.9}, S_{2.3.3.10}\} = \\ &= \{S_{\text{RAMAN}}, S_{\text{GRCAN}}, S_{\text{KOMF}}, S_{\text{NNANT}}, S_{\text{ANTUS}}, S_{\text{KONS}}, S_{\text{PRMCH}}, S_{\text{UUZG}}, S_{\text{DVRR}}, S_{\text{SPUPR}}\} = \\ &= \{RAMAN, GRCAN, KOMF, NNANT, ANTUS, KONS, PRMCH, UUZG, DVRR, SPUPR\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.3.3.1} = S_{\text{RAMAN}} = RAMAN$  – спрямована (рамкова) антена;  $S_{2.3.3.2} = S_{\text{GRCAN}} = GRCAN$  – підсилювач рамкового каналу;  $S_{2.3.3.3} = S_{\text{KOMF}} = KOMF$  – комутатор фази (балансний регулятор);  $S_{2.3.3.4} = S_{\text{NNANT}} = NNANT$  – ненаправлена антена;  $S_{2.3.3.5} = S_{\text{ANTUS}} = ANTUS$  – антенний підсилювач;  $S_{2.3.3.6} = S_{\text{KONS}} = KONS$  – контур складання;  $S_{2.3.3.7} = S_{\text{PRMCH}} = PRMCH$  – приймач;  $S_{2.3.3.8} = S_{\text{UUZG}} = UUZG$  – керуючий підсиленням звуку генератора;  $S_{2.3.3.9} = S_{\text{DVRR}} = DVRR$  – двигун обертання рамки та тахогенератор;  $S_{2.3.3.10} = S_{\text{SPUPR}} = SPUPR$  – система дистанційної передачі кута повороту рамки згідно [28].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.3.7}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 3$ ,  $r_{2.3} = 7$ ,  $v_{2.3.7} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.3.7} &= \mathbf{S}_{\text{BILS}} = \mathbf{BILS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{2.3.7.p} \right\} = \{S_{2.3.7.1}, S_{2.3.7.2}, S_{2.3.7.3}\} = \\ &= \{S_{\text{KRM}}, S_{\text{GLRM}}, S_{\text{BTPR}}\} = \{KRM, GLRM, BTPR\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.3.7.1} = S_{KRM} = KRM$  – курсовий радіомаяк;  $S_{2.3.7.2} = S_{GLRM} = GLRM$  – глісадний радіомаяк;  $S_{2.3.7.3} = S_{BTPR} = BTPR$  – бортові, технічні приймачі згідно [29].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{2.4.2}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 4$ ,  $r_{2.4} = 2$ ,  $v_{2.4.2} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{2.4.2} &= S_{TCAS} = TCAS = \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{2.4.2.p} \right\} = \{S_{2.4.2.1}, S_{2.4.2.2}, S_{2.4.2.3}, S_{2.4.2.4}, S_{2.4.2.5}\} = \\ &= \{S_{ANTN}, S_{BOBT}, S_{VIDRS}, S_{INDK}, S_{PULU}\} = \{ANTN, BOBT, VIDRS, INDK, PULU\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.4.2.1} = S_{ANTN} = ANTN$  – антени;  $S_{2.4.2.2} = S_{BOBT} = BOBT$  – блок обчислювача TCAS;  $S_{2.4.2.3} = S_{VIDRS} = VIDRS$  – відповідач режиму-S;  $S_{2.4.2.4} = S_{INDK} = INDK$  – індикатори;  $S_{2.4.2.5} = S_{PULU} = PULU$  – пульт управління згідно [30].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{2.4.4}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 4$ ,  $r_{2.4} = 4$ ,  $v_{2.4.4} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{2.4.4} &= S_{BMR} = BMR = \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{2.4.4.p} \right\} = \{S_{2.4.4.1}, S_{2.4.4.2}, S_{2.4.4.3}, S_{2.4.4.4}, S_{2.4.4.5}\} = \\ &= \{S_{PRDV}, S_{SYNHR}, S_{ANNT}, S_{PRIM}, S_{ANPER}\} = \{PRDV, SYNHR, ANNT, PRIM, ANPER\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.4.4.1} = S_{PRDV} = PRDV$  – передавач;  $S_{2.4.4.2} = S_{SYNHR} = SYNHR$  – синхронізатор;  $S_{2.4.4.3} = S_{ANNT} = ANNT$  – антена;  $S_{2.4.4.4} = S_{PRIM} = PRIM$  – приймач;  $S_{2.4.4.5} = S_{ANPER} = ANPER$  – антенний перемикач згідно [31].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{2.6.1}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 6$ ,  $r_{2.6} = 1$ ,  $v_{2.6.1} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{2.6.1} &= S_{DBSVS} = DBSVS = \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{2.6.1.p} \right\} = \{S_{2.6.1.1}, S_{2.6.1.2}, S_{2.6.1.3}, S_{2.6.1.4}, S_{2.6.1.5}\} = \\ &= \{S_{BBSB}, S_{RVM}, S_{BMRL}, S_{BMDX}, S_{BSIB}\} = \{BBSB, RVM, BMRL, BMDX, BSIB\}, \end{aligned}$$

де  $S_{2.6.1.1} = S_{BBSB} = BBSB$  – бортова база даних синтетичного бачення;  $S_{2.6.1.2} = S_{RVM} = RVM$  – радіовисотоміри SVS;  $S_{2.6.1.3} = S_{BMRL} = BMRL$  – бортовий метеорадіолокатор;  $S_{2.6.1.4} = S_{BMDX} = BMDX$  – бортовий РЛС міліметрового діапазону хвиль;  $S_{2.6.1.5} = S_{BSIB} = BSIB$  – бортова система інфрачервоного бачення згідно [13].



Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.6.2}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 6$ ,  $r_{2.6} = 2$ ,  $v_{2.6.2} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.6.2} &= \mathbf{S}_{DSVS} = \mathbf{DSVS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{2.6.2.p} \right\} = \{S_{2.6.2.1}, S_{2.6.2.2}, S_{2.6.2.3}, S_{2.6.2.4}, S_{2.6.2.5}\} = \\ &= \{S_{PFD}, S_{ND}, S_{HUD}, S_{HMD}, S_{IDIS}\} = \{PFD, ND, HUD, HMD, IDIS\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.6.2.1} = S_{PFD} = PFD$  – пілотажний дисплей (PFD);  $S_{2.6.2.2} = S_{ND} = ND$  – навігаційний дисплей (ND);  $S_{2.6.2.3} = S_{HUD} = HUD$  – системи індикації на склі (Head-Up Display – HUD);  $S_{2.6.2.4} = S_{HMD} = HMD$  – дисплеї, вмонтовані у шолом пілота (Helmet-Mounted Display);  $S_{2.6.2.5} = S_{IDIS} = IDIS$  – інші дисплеї згідно [13].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.6.3}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 6$ ,  $r_{2.6} = 3$ ,  $v_{2.6.3} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.6.3} &= \mathbf{S}_{OSVS} = \mathbf{OSVS} = \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{2.6.3.p} \right\} = \{S_{2.6.3.1}, S_{2.6.3.2}, S_{2.6.3.3}\} = \\ &= \{S_{OSZ}, S_{OGPP}, S_{OVP}\} = \{OSZ, OGPP, OVP\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.6.3.1} = S_{OSZ} = OSZ$  – обчислювач синтезування зображення;  $S_{2.6.3.2} = S_{OGPP} = OGPP$  – обчислювач групування, перевірки правдивості та схвалення результатів роботи системи SVS;  $S_{2.6.3.3} = S_{OVP} = OVP$  – обчислювач відображення позначок згідно [13].

Аналогічно, для множини підсистем  $\mathbf{S}_{2.7.4}$ , при  $n = 2$ ,  $m_2 = 7$ ,  $r_{2.7} = 4$ ,  $v_{2.7.4} = 5$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned}\mathbf{S}_{2.7.4} &= \mathbf{S}_{PNK} = \mathbf{PNK} = \left\{ \bigcup_{p=1}^5 S_{2.7.4.p} \right\} = \{S_{2.7.4.1}, S_{2.7.4.2}, S_{2.7.4.3}, S_{2.7.4.4}, S_{2.7.4.5}\} = \\ &= \{S_{AVUPR}, S_{VPIN}, S_{RUU}, S_{AVTMT}, S_{BFOIZ}\} = \{AVUPR, VPIN, RUU, AVTMT, BFOIZ\},\end{aligned}$$

де  $S_{2.7.4.1} = S_{AVUPR} = AVUPR$  – система автоматичного управління;  $S_{2.7.4.2} = S_{VPIN} = VPIN$  – система відображення пілотажної інформації;  $S_{2.7.4.3} = S_{RUU} = RUU$  – система ручного управління;  $S_{2.7.4.4} = S_{AVTMT} = AVTMT$  – автомати завантаження,

обмеження і зміни передаточних чисел;  $S_{2.7.4.5} = S_{BFOIZ} = BFOIZ$  – бортові функціонально-об'єднані інформаційні засоби (датчики) згідно [32].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{3.2.1}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 2$ ,  $r_{3.2} = 1$ ,  $v_{3.2.1} = 4$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{3.2.1} = S_{AMDS} = \mathbf{AMDS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^4 S_{3.2.1.p} \right\} = \{S_{3.2.1.1}, S_{3.2.1.2}, S_{3.2.1.3}, S_{3.2.1.4}\} = \\ &= \{S_{ATIM}, S_{AAV}, S_{ASCH}, S_{ADA}\} = \{ATIM, AAV, ASCH, ADA\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.2.1.1} = S_{ATIM} = ATIM$  – Amadeus Timetable;  $S_{3.2.1.2} = S_{AAV} = AAV$  – Amadeus availability;  $S_{3.2.1.3} = S_{ASCH} = ASCH$  – Amadeus schedules;  $S_{3.2.1.4} = S_{ADA} = ADA$  – Amadeus direct access згідно [33-34].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{3.2.2}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 2$ ,  $r_{3.2} = 2$ ,  $v_{3.2.2} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{3.2.2} = S_{TGDS} = \mathbf{TGDS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{3.2.2.p} \right\} = \{S_{3.2.2.1}, S_{3.2.2.2}, S_{3.2.2.3}\} = \\ &= \{S_{APLL}, S_{GALL}, S_{WSPN}\} = \{APLL, GALL, WSPN\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.2.2.1} = S_{APLL} = APLL$  – Apollo;  $S_{3.2.2.2} = S_{GALL} = GALL$  – Galileo;  $S_{3.2.2.3} = S_{WSPN} = WSPN$  – Worldspan згідно [10].

Аналогічно, для множини підсистем  $S_{3.5.2}$ , при  $n = 3$ ,  $m_3 = 5$ ,  $r_{3.5} = 2$ ,  $v_{3.5.2} = 3$ , з використанням (2.6), представимо підмножину підсистем таким чином:

$$\begin{aligned} S_{3.5.2} = S_{TAIS} = \mathbf{TAIS} &= \left\{ \bigcup_{p=1}^3 S_{3.5.2.p} \right\} = \{S_{3.5.2.1}, S_{3.5.2.2}, S_{3.5.2.3}\} = \\ &= \{S_{TCRS}, S_{TDCS}, S_{TTSH}\} = \{TCRS, TDCS, TTSH\}, \end{aligned}$$

де  $S_{3.5.2.1} = S_{TCRS} = TCRS$  – TAIS CRS (резервування та продаж перевезень);  $S_{3.5.2.2} = S_{TDCS} = TDCS$  – TAIS DCS (управління відправками);  $S_{3.5.2.3} = S_{TTSH} = TTSH$  – TAIS Travel Shop (електронна комерція) згідно [35].

Представлення підмножин  $ijk$ -ї підсистеми згідно табл. 2.3 відображено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Представлення підмножин  $ijk$ -ї підсистеми КАІС

Множини підсистем (I) $S_{ijk} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}})$	Множини підсистем (IO) $S_{ijk} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}})$	Кількість підмножин $ijk$ -ї підсистеми – $p (p = \overline{1, v_{ijk}})$	Підмножини підсистем (I) $S_{ijkp} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}, p = \overline{1, v_{ijk}})$	Підмножини підсистем (IO) $S_{ijkp} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}, p = \overline{1, v_{ijk}})$
<b>S<sub>1.1.1</sub></b>	<b>SAPE</b>	$v_{1.1.1} = 3$	$S_{1.1.1.1}, S_{1.1.1.2}, S_{1.1.1.3}$	<i>NRPZ, CPDLC, ACARS</i>
<b>S<sub>1.1.2</sub></b>	<b>SANE</b>	$v_{1.1.2} = 6$	$S_{1.1.2.1}, S_{1.1.2.2}, S_{1.1.2.3}, S_{1.1.2.4}, S_{1.1.2.5}, S_{1.1.2.6}$	<i>ZPRZZ, SCGZ, ZRZ, AFTN, AMHS, MOD</i>
<b>S<sub>1.1.3</sub></b>	<b>ZAR</b>	$v_{1.1.3} = 2$	$S_{1.1.3.1}, S_{1.1.3.2}$	<i>VOLM, ATIS</i>
<b>S<sub>1.2.1</sub></b>	<b>NDB</b>	$v_{1.2.1} = 4$	$S_{1.2.1.1}, S_{1.2.1.2}, S_{1.2.1.3}, S_{1.2.1.4}$	<i>SHNDB, PNDP, LLOC, LOC</i>
<b>S<sub>1.2.3</sub></b>	<b>DME</b>	$v_{1.2.3} = 2$	$S_{1.2.3.1}, S_{1.2.3.2}$	<i>PDME, DYSCH</i>
<b>S<sub>1.2.4</sub></b>	<b>ILS</b>	$v_{1.2.4} = 6$	$S_{1.2.4.1}, S_{1.2.4.2}, S_{1.2.4.3}, S_{1.2.4.4}, S_{1.2.4.5}, S_{1.2.4.6}$	<i>AZRAD, GLRAD, DRAD, MRAD, AKSK, APPPS</i>
<b>S<sub>1.3.7</sub></b>	<b>MLAT</b>	$v_{1.3.7} = 3$	$S_{1.3.7.1}, S_{1.3.7.2}, S_{1.3.7.3}$	<i>PRST, STOB, KVID</i>
<b>S<sub>1.3.8</sub></b>	<b>ADS</b>	$v_{1.3.8} = 2$	$S_{1.3.8.1}, S_{1.3.8.2}$	<i>ADSO, ADSI</i>
<b>S<sub>1.4.1</sub></b>	<b>ASYPR</b>	$v_{1.4.1} = 7$	$S_{1.4.1.1}, S_{1.4.1.2}, S_{1.4.1.3}, S_{1.4.1.4}, S_{1.4.1.5}, S_{1.4.1.6}, S_{1.4.1.7}$	<i>ODSS, OPD, MKS, ZVI, KGZ, PPR, ZBP</i>
<b>S<sub>1.4.2</sub></b>	<b>SPPP</b>	$v_{1.4.2} = 11$	$S_{1.4.2.1}, S_{1.4.2.2}, S_{1.4.2.3}, S_{1.4.2.4}, S_{1.4.2.5}, S_{1.4.2.6}, S_{1.4.2.7}, S_{1.4.2.8}, S_{1.4.2.9}, S_{1.4.2.10}, S_{1.4.2.11}$	<i>UIKR, FIR, UTA, TMA, AFIZ, ATZ, MOPR, FRA, PRDZ, UTZ, ZZOR</i>
<b>S<sub>1.4.3</sub></b>	<b>ESAN</b>	$v_{1.4.3} = 2$	$S_{1.4.3.1}, S_{1.4.3.2}$	<i>ARTAS, SDDS</i>
<b>S<sub>1.4.4</sub></b>	<b>SOPD</b>	$v_{1.4.4} = 1$	$S_{1.4.4.1}$	<i>IFPS</i>
<b>S<sub>1.5.2</sub></b>	<b>KRAMS</b>	$v_{1.5.2} = 5$	$S_{1.5.2.1}, S_{1.5.2.2}, S_{1.5.2.3}, S_{1.5.2.4}, S_{1.5.2.5}$	<i>CSIS, SISBL, KANO, SOSBP, DAT</i>
<b>S<sub>1.5.3</sub></b>	<b>SADIS</b>	$v_{1.5.3} = 5$	$S_{1.5.3.1}, S_{1.5.3.2}, S_{1.5.3.3}, S_{1.5.3.4}, S_{1.5.3.5}$	<i>OKIK, COMS, ISDNS, PRSER, STAFF</i>
<b>S<sub>2.1.1</sub></b>	<b>DPPT</b>	$v_{2.1.1} = 3$	$S_{2.1.1.1}, S_{2.1.1.2}, S_{2.1.1.3}$	<i>PST, PDT, KPPT</i>
<b>S<sub>2.1.3</sub></b>	<b>TPT</b>	$v_{2.1.3} = 2$	$S_{2.1.3.1}, S_{2.1.3.2}$	<i>STATL, DYNL</i>
<b>S<sub>2.2.3</sub></b>	<b>AKARS</b>	$v_{2.2.3} = 4$	$S_{2.2.3.1}, S_{2.2.3.2}, S_{2.2.3.3}, S_{2.2.3.4}$	<i>BPULC, INDIS, ANTEN, RPRC</i>
<b>S<sub>2.3.1</sub></b>	<b>SNS</b>	$v_{2.3.1} = 3$	$S_{2.3.1.1}, S_{2.3.1.2}, S_{2.3.1.3}$	<i>SHSPZ, KSPST, GPSPR</i>
<b>S<sub>2.3.2</sub></b>	<b>INS</b>	$v_{2.3.2} = 3$	$S_{2.3.2.1}, S_{2.3.2.2}, S_{2.3.2.3}$	<i>ALEX, GIRPR, EOMPR</i>

$S_{2.3.3}$	<b>ARK</b>	$v_{2.3.3} = 10$	$S_{2.3.3.1}, S_{2.3.3.2}, S_{2.3.3.3},$ $S_{2.3.3.4}, S_{2.3.3.5}, S_{2.3.3.6},$ $S_{2.3.3.7}, S_{2.3.3.8},$ $S_{2.3.3.9}, S_{2.3.3.10}$	<i>RAMAN, GRCAN, KOMF,</i> <i>NNANT, ANTUS, KONS,</i> <i>PRMCH, UUZG,</i> <i>DVRR, SPUPR</i>
$S_{2.3.7}$	<b>BILS</b>	$v_{2.3.7} = 3$	$S_{2.3.7.1}, S_{2.3.7.2}, S_{2.3.7.3}$	<i>KRM, GLRM, BTPR</i>
$S_{2.4.2}$	<b>TCAS</b>	$v_{2.4.2} = 5$	$S_{2.4.2.1}, S_{2.4.2.2}, S_{2.4.2.3},$ $S_{2.4.2.4}, S_{2.4.2.5}$	<i>ANTN, BOBT, VIDRS,</i> <i>INDK, PULU</i>
$S_{2.4.4}$	<b>BMR</b>	$v_{2.4.4} = 5$	$S_{2.4.4.1}, S_{2.4.4.2}, S_{2.4.4.3},$ $S_{2.4.4.4}, S_{2.4.4.5}$	<i>PRDV, SYNHR, ANNT,</i> <i>PRIM, ANPER</i>
$S_{2.6.1}$	<b>DBSVS</b>	$v_{2.6.1} = 5$	$S_{2.6.1.1}, S_{2.6.1.2}, S_{2.6.1.3},$ $S_{2.6.1.4}, S_{2.6.1.5}$	<i>BBSB, RVM, BMRL,</i> <i>BMDX, BSIB</i>
$S_{2.6.2}$	<b>DSVS</b>	$v_{2.6.2} = 5$	$S_{2.6.2.1}, S_{2.6.2.2}, S_{2.6.2.3},$ $S_{2.6.2.4}, S_{2.6.2.5}$	<i>PFD, ND, HUD,</i> <i>HMD, IDIS</i>
$S_{2.6.3}$	<b>OSVS</b>	$v_{2.6.3} = 3$	$S_{2.6.3.1}, S_{2.6.3.2}, S_{2.6.3.3}$	<i>OSZ, OGPP, OVP</i>
$S_{2.7.4}$	<b>PNK</b>	$v_{2.7.4} = 5$	$S_{2.7.4.1}, S_{2.7.4.2}, S_{2.7.4.3},$ $S_{2.7.4.4}, S_{2.7.4.5}$	<i>AVUPR, VPIN, RUU,</i> <i>AVTMT, BFOIZ</i>
$S_{3.2.1}$	<b>AMDS</b>	$v_{3.2.1} = 4$	$S_{3.2.1.1}, S_{3.2.1.2}, S_{3.2.1.3}, S_{3.2.1.4}$	<i>ATIM, AAV, ASCH, ADA</i>
$S_{3.2.2}$	<b>TGDS</b>	$v_{3.2.2} = 3$	$S_{3.2.2.1}, S_{3.2.2.2}, S_{3.2.2.3}$	<i>APLL, GALL, WSPN</i>
$S_{3.5.2}$	<b>TAIS</b>	$v_{3.5.2} = 3$	$S_{3.5.2.1}, S_{3.5.2.2}, S_{3.5.2.3}$	<i>TCRS, TDCS, TTSH</i>

Для галузі ЦА, системи КАІС був визначений рівень деталізації  $l = 4$ , який з урахуванням (2.8), можна представити так:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S} &= \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \mathbf{S}_{i_1} \right\} = \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \left\{ \bigcup_{i_2=1}^{n_{i_1}} \mathbf{S}_{i_1, i_2} \right\} \right\} = \\
 &= \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \left\{ \bigcup_{i_2=1}^{n_{i_1}} \left\{ \bigcup_{i_3=1}^{n_{i_1, i_2}} \mathbf{S}_{i_1, i_2, i_3} \right\} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i_1=1}^{n_0} \left\{ \bigcup_{i_2=1}^{n_{i_1}} \left\{ \bigcup_{i_3=1}^{n_{i_1, i_2}} \left\{ \bigcup_{i_4=1}^{n_{i_1, i_2, i_3}} \mathbf{S}_{i_1, i_2, i_3, i_4} \right\} \right\} \right\} \right\},
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

де  $\mathbf{S}_{i_1, i_2, \dots, i_l} \subseteq \mathbf{S}$  ( $i_1 = \overline{1, n_0}$ ,  $i_2 = \overline{1, n_{i_1}}$ ,  $i_3 = \overline{1, n_{i_1, i_2}}$ ,  $i_4 = \overline{1, n_{i_1, i_2, i_3}}$ ) – рівні деталізації категорії  $\mathbf{S}_{\text{KAIS}}$ , при чому, згідно виразів (2.1), (2.2), (2.4) та (2.6)  $i_1 = i, i_2 = j, i_3 = k, i_4 = p$  та  $n_0 = n, n_{i_1} = m_i, n_{i_1, i_2} = r_{ij}, n_{i_1, i_2, i_3} = v_{ijk}$ .

Перелік об'єктів КІІ для галузі ЦА (системи КАІС) згідно табл. 2.4 відображено у табл. 2.8. При чому, підсистеми, які за думкою автора, відповідають значенню  $v_{ijk} = 0$ , зазначені у табл. 2.8 як ті, що не мають відповідних підмножин (за

відсутності можливості систематизації даних або відсутності вичерпної інформації про підсистему) та є останніми рівнями деталізації.

Таблиця 2.8

## Перелік об'єктів КП для галузі ЦА (КАІС)

Повна множина категорій систем КП	Множини категорій (ІО) $S_i (i = \overline{1, n})$	Множини систем (ІО) $S_{ij} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i})$	Множини підсистем (ІО)/ елементи множини $S_{ijk} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}})$	Підмножини підсистем (ІО) $S_{ijkp} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}}, p = \overline{1, v_{ijk}})$
<b>KAIS</b>	<b>ISAO</b>	<b>SAE</b>	<b>SAPE</b>	<i>NRPZ, CPDLC, ACARS</i>
			<b>SANE</b>	<i>ZPRZZ, SCGZ, ZRZ, AFTN, AMHS, MOD</i>
			<b>ZAR</b>	<i>VOLM, ATIS</i>
			<b>SASZ</b>	
		<b>RZZP</b>	<b>MTM</b>	
			<b>NDB</b>	<i>SHNDB, PNDB, LLOC, LOC</i>
			<b>VOR</b>	
			<b>DME</b>	<i>PDME, DYSCH</i>
		<b>SSP</b>	<b>ILS</b>	<i>AZRAD, GLRAD, DRAD, MRAD, AKSK, APPPS</i>
			<b>PSR</b>	
			<b>SSR</b>	
			<b>MSSR</b>	
			<b>RADS</b>	
			<b>SMR</b>	
			<b>WRAD</b>	
			<b>MLAT</b>	<i>PRST, STOBR, KVID</i>
			<b>ADS</b>	<i>ADSO, ADSI</i>
			<b>DF</b>	
		<b>SOD</b>	<b>ASYPR</b>	<i>ODSS, OPD, MKS, ZVI, KGZ, PPR, ZBP</i>
			<b>SPPP</b>	<i>UIKR, FIR, UTA, TMA, AFIZ, ATZ, MOPR, FRA, PRDZ, UTZ, ZZOR</i>
			<b>ESAN</b>	<i>ARTAS, SDDS</i>
			<b>SOPD</b>	<i>IFPS</i>
			<b>SOPA</b>	
		<b>SMZ</b>	<b>SCMAU</b>	

Продовження табл. 2.8.

			<b>KRAMS</b>	<i>CSIS, SISBL, KANO, SOSBP, DAT</i>
			<b>SADIS</b>	<i>OKIK, COMS, ISDNS, PRSER, STAFF</i>
			<b>DPPT</b>	<i>PST, PDT, KPPT</i>
		<b>SPS</b>	<i>DZP</i>	
			<b>TPT</b>	<i>STATL, DYNL</i>
			<i>POP</i>	
		<b>SZV</b>	<i>BRS</i>	
			<i>CPDLS</i>	
			<b>AKARS</b>	<i>BPULC, INDIS, ANTEN, RPRC</i>
		<b>NAVS</b>	<b>SNS</b>	<i>SHSPZ, KSPST, GPSPR</i>
			<b>INS</b>	<i>ALEX, GIRPR, EOMPR</i>
			<b>ARK</b>	<i>RAMAN, GRCAN, KOMF, NNANT, ANTUS, KONS, PRMCH, UUZG, DVRR, SPUPR</i>
			<i>RV</i>	
			<i>BVOR</i>	
			<i>BD</i>	
			<b>BILS</b>	<i>KRM, GLRM, BTPR</i>
			<i>DVKZ</i>	
		<b>SSPZ</b>	<i>TRA</i>	
			<b>TCAS</b>	<i>ANTN, BOBT, VIDRS, INDK, PULU</i>
			<i>SRPZ</i>	
			<b>BMR</b>	<i>PRDV, SYNHR, ANNT, PRIM, ANPER</i>
		<b>OSL</b>	<i>OBCH</i>	
			<i>MCDU</i>	
		<b>SVI</b>	<b>DBSVS</b>	<i>BBSB, RVM, BMRL, BMDX, BSIB</i>
			<b>DSVS</b>	<i>PFD, ND, HUD, HMD, IDIS</i>
			<b>OSVS</b>	<i>OSZ, OGPP, OVP</i>
			<i>NSVSO</i>	
			<i>ISVS</i>	
		<b>ABSK</b>	<i>APIL</i>	
			<i>SAU</i>	
			<i>PILS</i>	
			<b>PNK</b>	<i>AVUPR, VPIN, RUU, AVTMT, BFOIZ</i>

	<b>ISAA</b>	<b>CRS</b>	<i>DELTM</i>		
			<i>PANAM</i>		
		<b>GDS</b>	<b>AMDS</b>	<i>ATIM, AAV, ASCH, ADA</i>	
			<b>TGDS</b>	<i>APLL, GALL, WSPN</i>	
			<i>SAB</i>		
			<i>TRES</i>		
			<i>APSS</i>		
			<i>ABCS</i>		
			<i>ACA</i>		
			<i>AXS</i>		
			<i>IBE</i>		
			<i>KUI</i>		
			<i>MER</i>		
			<i>NAV</i>		
			<i>PATH</i>		
			<i>RAD</i>		
			<i>AKF</i>		
			<i>TTI</i>		
			<i>WSMS</i>		
			<i>SIR</i>		
		<b>IDS</b>	<i>BKNG</i>		
			<i>OKT</i>		
			<i>EXP</i>		
			<i>ORB</i>		
			<i>HRS</i>		
			<i>TRAV</i>		
			<i>HOT</i>		
			<i>PRLN</i>		
		<b>BSP</b>	<i>STD</i>		
			<i>SAF</i>		
			<i>ODOC</i>		
			<i>ZVPR</i>		
			<i>PROCO</i>		
			<i>SABZ</i>		
			<i>PPKK</i>		
			<i>POV</i>		
		<b>DCS</b>	<i>SITA</i>		
			<b>TAIS</b>	<i>TCRS, TDCS, TTSH</i>	
			<i>SAMDS</i>		
			<i>JKCS</i>		
				<i>HCS</i>	

### 2.3. Побудова матриці інцидентності КБ КІ та визначення зв'язності множин КЗ та КАІС

Для визначення зв'язності отриманих за допомогою уніфікованої моделі даних сформуємо згідно [36] матрицю інцидентності  $\Delta$  (2.10), яка для визначеної множини систем КАІС  $\mathbf{Y} = \{\bigcup_{i=1}^m Y_i\} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ , де  $Y_i \subseteq \mathbf{Y}$  ( $i = \overline{1, m}$ ), де  $m$  – загальна кількість систем, та множини КЗ об'єктам КІ держави  $\mathbf{X} = \{\bigcup_{j=1}^n X_j\} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , де  $X_j \subseteq \mathbf{X}$  ( $j = \overline{1, n}$ ), де  $n$  – загальна кількість КЗ відображає відношення впливу  $\lambda$ . Матриця інцидентності визначає відношення  $\Delta = (\lambda_{ij})$ , що характеризує можливість певної КЗ  $X_j$  вплинути на певну систему КАІС  $Y_i$  (де  $\lambda_{ij} = 1$ , якщо  $(Y_i, X_j) \in 1$ , та  $\lambda_{ij} = 0$ , якщо  $(Y_i, X_j) \notin 1$ ).

$$\begin{array}{cccccc}
 & X_1 & X_2 & \dots & X_n & \\
 Y_1 & \lambda_{11} & \lambda_{21} & \dots & \lambda_{n1} & \\
 Y_2 & \lambda_{12} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{n2} & \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\
 Y_m & \lambda_{1m} & \lambda_{2m} & \dots & \lambda_{nm} & 
 \end{array} \quad (2.10)$$

Після чого можливо сформуувати множини вершин комплексу, що характеризують перелік можливих КЗ для певної системи  $K_Y(X; \lambda)$ , та перелік систем, на які може вплинуть певна КЗ  $K_X(Y; \lambda^{-1})$ . При необхідності розгляду комплекс у цілому, доцільно використати поняття ланцюга зв'язку, який відображає той факт, що два симплекси можуть і не мати спільної грані, але можуть бути зв'язані за допомогою послідовності проміжних симплексів. Симплекційний комплекс – це математичне узагальнення поняття планарного графа, що відображає багатомірну природу бінарного відношення системи. Оскільки симплекційний комплекс є множиною симплексів, з'єднаних між собою за допомогою спільних граней, то за характеристику зв'язку можна брати величину грані, спільної для двох симплексів. Отже, якщо множини  $\mathbf{Y}$  та  $\mathbf{X}$  мають  $m$  і  $n$  елементів відповідно, то матриця  $\Delta$  є матрицею розміром  $(m \times n)$ ,



яка складається з нулів та одиниць. Добуток  $\Delta\Delta^T$  – це число, що стоїть на місці  $(i, j)$  та є скалярним добутком рядків  $i$  та  $j$  матриці  $\Delta$ . Воно дорівнює числу одиниць, що знаходяться на одних і тих самих місцях у рядках  $i$  та  $j$  матриці  $\Delta$  і відповідає значенню  $(q+1)$ , де  $q$  - розмірність спільної гарні симплексів  $\sigma_p$  і  $\sigma_r$ , заданих рядками  $i$  та  $j$ . Таким чином, для знаходження  $q$  - спільних граней усіх пар  $Y$ -симплексів у  $K_Y(X; \lambda)$  необхідно: скласти матрицю  $\Delta\Delta^T$  розміром  $(m \times m)$ ; оцінити  $\Delta\Delta^T - \Omega$ , де  $\Omega = (\omega_{ij})$ , а  $\omega_{ij} = 1$  для  $i, j = \overline{1, m}$ . Цілі числа на діагоналі матриці є розмірностями симплексів  $Y$ , а  $Q$ -аналіз здійснюється перевіркою інших комбінацій стовпчиків та рядків. Аналіз для  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  виконується за допомогою складення матриці  $\Delta^T\Delta - \Omega'$ , де  $\Omega'$  – матриця розміром  $(n \times n)$ , що складається з одиниць. Цілі числа на діагоналі матриці також є розмірностями симплексів  $X$ , а  $Q$ -аналіз здійснюється перевіркою інших комбінацій стовпчиків та рядків. Кількість різних  $q$ -зв'язних комбінацій комплексу  $K$  позначається через число  $Q_q$ , а їх упорядковані в порядку спадання значення є першим структурним вектором комплексу. За допомогою структурного вектору згідно [36] та виразу  $\phi(K) = 2 \left[ \sum_{i=0}^N (i+1) Q_i \right] / (N+1)(N+2)$ , можна отримати і порівняти міру складності комплексів.

Наприклад, сформований перелік ідентифікованих критичних об'єктів (множини  $S_{ij}$  за (2.2) і табл. 2.5) був використаний для аналізу впливу можливих КЗ. Побудована, на основі (2.10), матриця інцидентності відношення  $\Delta_{KAIS\_THREATS}$  (рис. 2.5) при  $i = \overline{1, 17}$ ,  $j = \overline{1, 19}$ , характеризує можливість певної КЗ  $X_j$  вплинути на певну КАІС  $Y_i$ , де:  $Y_1$  – системи авіаційного електрозв'язку;  $Y_2$  – радіонавігаційні засоби забезпечення польотів;  $Y_3$  – системи спостереження;  $Y_4$  – системи обробки даних;  $Y_5$  – системи метеорологічного забезпечення;  $Y_6$  – система повітряних сигналів;  $Y_7$  – системи зв'язку;  $Y_8$  – навігаційні системи;  $Y_9$  –

системи спостереження та попередження зіткнень;  $Y_{10}$  – обчислювальні системи літаководіння;  $Y_{11}$  – системи відображення інформації;  $Y_{12}$  – автоматичні бортові системи керування;  $Y_{13}$  – система комп’ютерного бронювання;  $Y_{14}$  – глобальна система резервування (бронювання);  $Y_{15}$  – Інтернет системи бронювання (Internet Distribution Systems, IDS);  $Y_{16}$  – система взаєморозрахунків;  $Y_{17}$  – системи управління відправками, а відповідно до [37]:  $X_1$  – авіаційні катастрофи;  $X_2$  – ядерні аварії;  $X_3$  – аварії у системах енергозабезпечення;  $X_4$  – викиди небезпечних речовин;  $X_5$  – відмови систем;  $X_6$  – аварії та надзвичайні події обумовлені недбалістю, організаційними помилками;  $X_7$  – аварії на об’єктах підвищеної безпеки;  $X_8$  – метеорологічні або надзвичайні погодні умови;  $X_9$  – гідрологічні загрози;  $X_{10}$  – сейсмічні загрози;  $X_{11}$  – геологічні загрози;  $X_{12}$  – геліофізичні загрози;  $X_{13}$  – пожежі (лісові, степові, торф’яні);  $X_{14}$  – епідемії та пандемії, епізоотії, епіфітотії;  $X_{15}$  – дії терористів;  $X_{16}$  – дії злочинців та диверсантів;  $X_{17}$  – військові дії в умовах війни;  $X_{18}$  – кібертаки на ІТС;  $X_{19}$  – загрози функціонування державних органів влади, збройних сил, правоохоронних органів та спецслужб.

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$
$Y_1$	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
$Y_2$	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
$Y_3$	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
$Y_4$	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
$Y_5$	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
$Y_6$	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
$Y_7$	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
$Y_8$	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
$Y_9$	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
$Y_{10}$	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$Y_{11}$	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
$Y_{12}$	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Y_{13}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
$Y_{14}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
$Y_{15}$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
$Y_{16}$	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
$Y_{17}$	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 2.5. Матриця інцидентності  $\Delta_{KAIS\_THREATS}$

Згідно матриці інцидентності (див. рис. 2.5) сформуємо множину вершин комплексів  $K_Y(X; \lambda)$ , що характеризують перелік КЗ, які можуть вплинути на певну систему КАІС:

- $(Y_1) < X_1, X_2, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{12};$   
 $(Y_2) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{10};$   
 $(Y_3) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_{11};$   
 $(Y_4) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_{10};$   
 $(Y_5) < X_1, X_2, X_4, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{16} > \sigma_{10};$   
 $(Y_6) < X_1, X_3, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16} > \sigma_{10};$   
 $(Y_7) < X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{14};$   
 $(Y_8) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{12};$   
 $(Y_9) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{13};$   
 $(Y_{10}) < X_1, X_5, X_6, X_8, X_{10}, X_{16} > \sigma_5;$   
 $(Y_{11}) < X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{15}, X_{17}, X_{18} > \sigma_{10};$   
 $(Y_{12}) < X_1, X_2, X_3, X_5, X_7, X_8, X_9 > \sigma_6;$   
 $(Y_{13}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{12}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{11};$   
 $(Y_{14}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18}, X_{19} > \sigma_9;$   
 $(Y_{15}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_8;$   
 $(Y_{16}) < X_1, X_3, X_5, X_6, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{18} > \sigma_7;$   
 $(Y_{17}) < X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19} > \sigma_{15}.$

Згідно матриці інцидентності (див. рис. 2.5) сформуємо множини вершин комплексів  $K_X(Y; \lambda^{-1})$ , що характеризують перелік системи, на які може вплинути певна КЗ КІ:

- $(X_1) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{16};$   
 $(X_2) < Y_1, Y_5, Y_{11}, Y_{12}, Y_{17} > \sigma_4;$   
 $(X_3) < Y_1, Y_2, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{12};$   
 $(X_4) < Y_5, Y_7, Y_{17} > \sigma_2;$   
 $(X_5) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{16};$

- $(X_6) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{13};$
- $(X_7) < Y_9, Y_{12} > \sigma_1;$
- $(X_8) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{17} > \sigma_{15};$
- $(X_9) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{12}, Y_{17} > \sigma_{11};$
- $(X_{10}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11} > \sigma_{10};$
- $(X_{11}) < Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8 > \sigma_5;$
- $(X_{12}) < Y_1, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{13}, Y_{17} > \sigma_9;$
- $(X_{13}) < Y_3, Y_5, Y_6, Y_9, Y_{17} > \sigma_4;$
- $(X_{14}) < Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_4;$
- $(X_{15}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{13};$
- $(X_{16}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{14};$
- $(X_{17}) < Y_1, Y_2, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{17} > \sigma_7;$
- $(X_{18}) < Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{11}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17} > \sigma_{12};$
- $(X_{19}) < Y_7, Y_{13}, Y_{14}, Y_{17} > \sigma_3.$

Для знаходження  $q$ -спільних граней усіх пар  $Y$ -симплексів у  $K_Y(X; \lambda)$  сформуємо матрицю  $\Delta\Delta^T$  розміром  $(m \times m)$  (рис. 2.6).

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_{15}$	$Y_{16}$	$Y_{17}$	
12	10	9	9	7	8	11	11	11	5	10	5	9	7	7	6	11	$Y_1$
	10	8	8	5	7	10	10	10	5	9	4	8	7	7	6	9	$Y_2$
		11	10	8	9	10	10	10	5	7	3	7	6	6	5	9	$Y_3$
			10	7	8	10	10	9	5	7	3	7	6	6	5	8	$Y_4$
				10	8	8	7	7	4	5	4	4	3	3	2	8	$Y_5$
					10	9	9	9	4	6	4	6	5	5	4	8	$Y_6$
						14	12	11	5	9	4	10	8	7	6	12	$Y_7$
							12	11	5	9	4	9	7	7	6	10	$Y_8$
								13	5	9	5	9	7	7	6	11	$Y_9$
									5	4	2	4	4	4	3	4	$Y_{10}$
										10	5	7	6	6	5	9	$Y_{11}$
											6	3	3	3	2	5	$Y_{12}$
												11	9	8	7	11	$Y_{13}$
													9	8	7	9	$Y_{14}$
														8	7	8	$Y_{15}$
															7	7	$Y_{16}$
																15	$Y_{17}$

Рис. 2.6. Матриця інцидентності системи КАІС

Враховуючи, що розмірність є величиною грані симплексу, отримані значення розмірностей симплексу  $q$  (цілі числа на діагоналі) зазначаємо у

порядку спадання та визначаємо їх зв'язність та приналежність до систем.

Q- значення симплексів комплексу  $K_Y(X; \lambda)$  – системи КАІС:

при  $q = 15$ ,  $\{Y_{17}\} Q_{15} = 1$ ;

при  $q = 14$ ,  $\{Y_7\} Q_{14} = 1$ ;

при  $q = 13$ ,  $\{Y_9\} Q_{13} = 1$ ;

при  $q = 12$ ,  $\{Y_1\} \{Y_7, Y_8\} Q_{12} = 2$ ;

при  $q = 11$ ,  $\{Y_3\} \{Y_{13}, Y_{17}\} Q_{11} = 2$ ;

при  $q = 10$ ,  $\{Y_1, Y_2, Y_7, Y_8, Y_9\} \{Y_3, Y_4\} \{Y_5\} \{Y_6\} \{Y_{11}\} Q_{10} = 5$ ;

при  $q = 9$ ,  $\{Y_{13}, Y_{14}, Y_{17}\} Q_9 = 1$ ;

при  $q = 8$ ,  $\{Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{17}\} Q_8 = 1$ ;

при  $q = 7$ ,  $\{Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}\} Q_7 = 1$ ;

при  $q = 6$ ,  $\{Y_{12}\} Q_6 = 1$ ;

при  $q = 5$ ,  $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}\} Q_5 = 1$ .

Перший структурний вектор комплексу  $K_Y(X; \lambda)$  систем КАІС буде мати вигляд:  $Q_Y = \{1, 1, 1, 2, 2, 5, 1, 1, 1, 1, 1\}$ , а міра складності комплексу  $\phi_{KAIS} = 1,39$ .

Аналогічно, для знаходження  $q$ -спільних граней усіх пар  $X$ -симплексів у  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  сформуємо матрицю  $\Delta^T \Delta$  розміром  $(n \times n)$  (рис. 2.7).

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>		
16																				X <sub>1</sub>
	4																			X <sub>2</sub>
		4																		X <sub>3</sub>
			3																	X <sub>4</sub>
				1																X <sub>5</sub>
					4															X <sub>6</sub>
						2														X <sub>7</sub>
							1													X <sub>8</sub>
								0												X <sub>9</sub>
									2											X <sub>10</sub>
										1										X <sub>11</sub>
											1									X <sub>12</sub>
												2								X <sub>13</sub>
													1							X <sub>14</sub>
														0						X <sub>15</sub>
															1					X <sub>16</sub>
																2				X <sub>17</sub>
																	1			X <sub>18</sub>
																		3		X <sub>19</sub>
																			3	X <sub>19</sub>

Рис. 2.7. Матриця інцидентності КЗ об'єктам КІ держави

Отримані значення розмірностей симплексу  $q$  зазначаємо у порядку спадання та визначаємо їх зв'язність та приналежність до систем.  $Q$ -значення симплексів комплексу  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  – КЗ об'єктам КІ держави:

$$\text{при } q = 16, \{X_1, X_5\} \quad Q_{16} = 1;$$

$$\text{при } q = 15, \{X_1, X_5, X_8\} \quad Q_{15} = 1;$$

$$\text{при } q = 14, \{X_1, X_5, X_{16}\} \quad Q_{14} = 1;$$

$$\text{при } q = 13, \{X_1, X_5, X_6\} \{X_{15}\} \quad Q_{13} = 2;$$

$$\text{при } q = 12, \{X_1, X_3, X_5\} \{X_6, X_{15}, X_{18}\} \quad Q_{12} = 2;$$

$$\text{при } q = 11, \{X_1, X_5, X_8, X_9\} \quad Q_{11} = 1;$$

$$\text{при } q = 10, \{X_1, X_5, X_8, X_{10}\} \quad Q_{10} = 1;$$

$$\text{при } q = 9, \{X_1, X_5, X_8, X_{12}, X_{16}\} \quad Q_9 = 1;$$

$$\text{при } q = 7, \{X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{15}, X_{17}, X_{18}\} \quad Q_7 = 1;$$

$$\text{при } q = 5, \{X_1, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{16}\} \quad Q_5 = 1;$$

$$\text{при } q = 4, \{X_1, X_2, X_5, X_8, X_9\} \{X_{12}, X_{13}, X_{16}\} \{X_3, X_6, X_{14}, X_{15}, X_{18}\} \quad Q_4 = 3;$$

$$\text{при } q = 3, \{X_1, X_3, X_5, X_6, X_8, X_{15}, X_{16}, X_{18}, X_{19}\} \quad Q_3 = 1;$$

$$\text{при } q = 2, \{X_1, X_4, X_5, X_8, X_9, X_{12}, X_{16}\} \quad Q_2 = 1;$$

$$\text{при } q = 1, \{X_1, X_3, X_5, X_7, X_8, X_9\} \quad Q_1 = 1.$$

Перший структурний вектор комплексу  $K_X(Y; \lambda^{-1})$  КЗ об'єктам КІ буде мати вигляд:  $Q_X = \{1, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1\}$ , а міра складності комплексу  $\phi_{THREATS} = 1, 13$ .

Як показало дослідження, відношення  $q$ - зв'язків множин КЗ має більш високу зв'язність у порівнянні з аналогічними відношеннями  $q$ - зв'язків множин систем КАІС, а це свідчить що реалізації однієї КЗ може ініціювати каскадний ефект на інші зв'язані загрози та призвести до важких, а іноді і руйнівних наслідків для певної системи КАІС. Крім того, відображено структурний вектор відношення для систем КАІС та структурний вектор

відношення для загроз КІ держави за допомогою яких можна отримати і порівняти міру (числове значення) складності  $\phi$  комплексів цих відношень. Обчислена міра складності комплексів  $\phi_{KAIS}$  та  $\phi_{THREATS}$  свідчить про більшу «складність» систем КАІС. Зауважимо, що таке визначення складності розглядає тільки статистичну складність обраних комплексів.

### 2.4. Метод ідентифікації об'єктів КІ авіаційної галузі

Запропонований метод ідентифікації об'єктів КІ в авіаційній галузі (схема реалізації відображена на рис. 2.8) реалізується в такі етапи: 1) формування елементів КІ; 2) формування можливих чинників впливу на елемент КІ; 3) визначення ступеню пошкодження та ваги впливу чинника на елемент КІ; 4) формування функцій впливу елементів КІ; 5) графоаналітичне відображення функціональних процесів системи КІ; 6) оцінювання якості функціонування системи КІ.

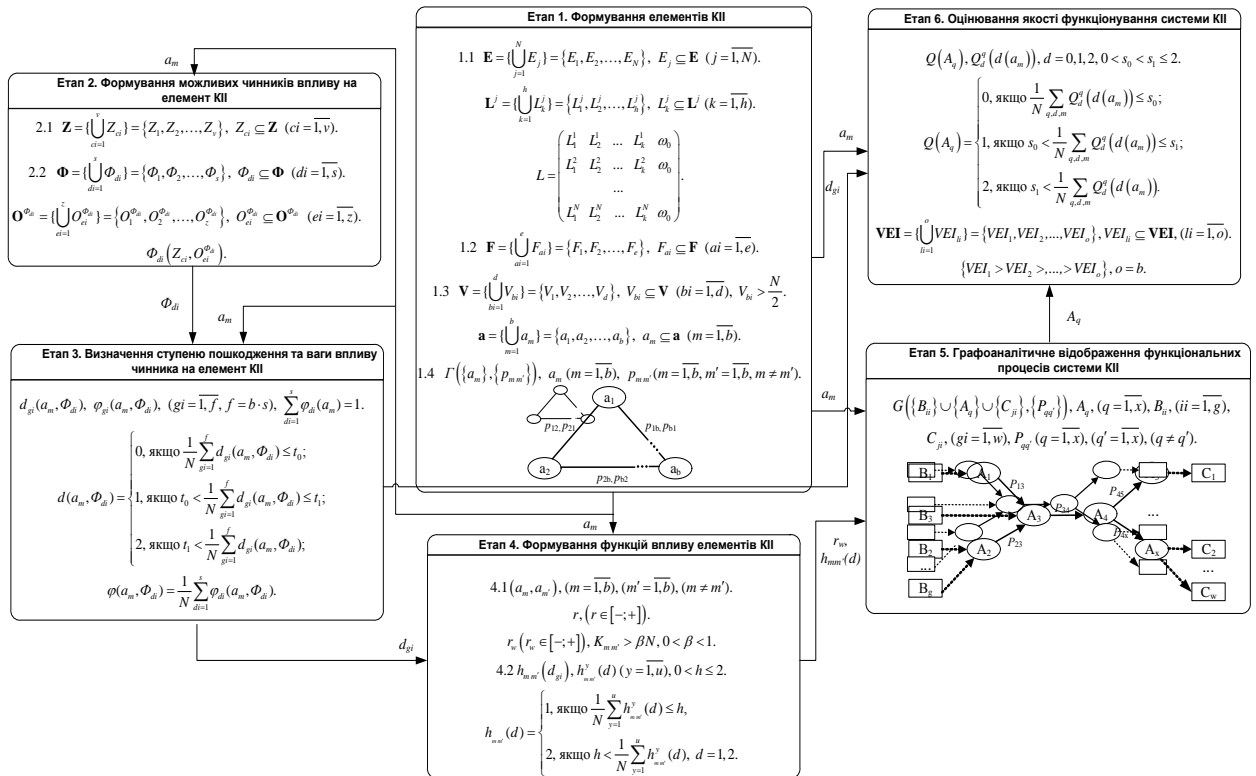


Рис. 2.8. Схема реалізації методу ідентифікації об'єктів КІ авіаційної галузі

Вхідні дані методу: 1) структурно-функціональні схеми аналізованої системи; 2) інформація про елементи інфраструктури та їх функціональні

операції аналізованої системи; 3) докладний опис всіх можливих чинників та їх параметрів, які можуть впливати на функціонування системи.

Вихідні дані: 1) множина ідентифікованих елементів інфраструктури; 2) множина чинників впливу на елемент інфраструктури та опис їх параметрів; 3) таблиці ступенів пошкодження елементів інфраструктури для кожного чинника впливу; 4) таблиці ваг впливу елементів інфраструктури для кожного чинника впливу; 5) перелік пар елементів інфраструктури для яких встановлено відношення впливу та їх обраховано значення функції впливу; 6) граф функціонального процесу системи КП; 7) матриця впливу елементів інфраструктури на їх функціональні операції та перелік ранжованих за порядком важливості елементів інфраструктури системи КП.

Розроблений у [38] метод реалізується на рівні системи, згідно (2.8) при  $l = 2$  (відповідно розробленої уніфікованої моделі даних) і стосується лише елементів інформаційної інфраструктури (ЕІ), які повністю відображають структуру обраного рівня деталізації. Розглянемо детально кожен з етапів реалізації запропонованого методу.

### Етап 1. Формування елементів КП

*Крок 1.1. Формування можливих ЕІ.* Для формування можливих ЕІ певної системи  $S_i$  кожен експерт з множини  $\mathbf{E}$  ( $\mathbf{E} = \{\bigcup_{j=1}^N E_j\} = \{E_1, E_2, \dots, E_N\}$ ,

$E_j \subseteq \mathbf{E}$  ( $j = \overline{1, N}$ ) – експерти у галузі КП,  $N$  – загальна кількість експертів),

формує всі можливі ЕІ  $\mathbf{L}^j = \{\bigcup_{k=1}^h L_k^j\} = \{L_1^j, L_2^j, \dots, L_h^j\}$ ,  $L_k^j \subseteq \mathbf{L}^j$  ( $k = \overline{1, h}$ ) – можливі

ЕІ сформовані  $j$ -м експертом,  $h$  – кількість елементів, які характеризують систему  $S_i$ ). У результаті виконання кроку 1.1 формується матриця (2.11):

$$L = \begin{pmatrix} L_1^1 & L_2^1 & \dots & L_k^1 & \omega_0 \\ L_1^2 & L_2^2 & \dots & L_k^2 & \omega_0 \\ & & \dots & & \\ L_1^N & L_2^N & \dots & L_k^N & \omega_0 \end{pmatrix}, \quad (2.11)$$



де відображені всі можливі елементи КІІ певної системи  $S_i$ . Сформовані можливі ЕІІ  $\{L_1^j, L_2^j, \dots, L_h^j\}$  можуть мати різну довжину, тому згідно описаному в [39-40] підходу, вони доповнюються пустим елементом  $\omega_0$  таким чином, щоб всі рядки матриці (2.11) мали однакову довжину.

*Крок 1.2. Виділення унікальних ЕІІ.* Для виділення унікальних ЕІІ з отриманих можливих  $L_k^j$  виділяємо відповідну множину  $\mathbf{F}$  ( $\mathbf{F} = \{\bigcup_{ai=1}^e F_{ai}\} = \{F_1, F_2, \dots, F_e\}$ ,  $F_{ai} \subseteq \mathbf{F}$  ( $ai = \overline{1, e}$ ) – унікальні ЕІІ,  $e$  – кількість унікальних ЕІІ).

*Крок 1.3. Узгодження ЕІІ.* Формування узгоджених ЕІІ з отриманих унікальних ЕІІ  $F_{ai}$  здійснюється за допомогою встановлення співпадіння елементів  $F_{ai}$  у матриці  $L$  у вигляді множини  $\mathbf{V}$  ( $\mathbf{V} = \{\bigcup_{bi=1}^d V_{bi}\} = \{V_1, V_2, \dots, V_d\}$ ,  $V_{bi} \subseteq \mathbf{V}$  ( $bi = \overline{1, d}$ ) – співпадіння елементів  $F_{ai}$  у матриці  $L$ ,  $d$  – кількість співпадінь відповідного  $F_{ai}$  у матриці  $L$ ). Узгодження множини ЕІІ відбувається згідно виразу:  $V_{bi} > \frac{N}{2}$ , отримані значення кількості співпадінь та їх відповідні ЕІІ, пропонується для затвердження у якості узгодженої множини елементів КІІ:  $\mathbf{a} = \{\bigcup_{m=1}^b a_m\} = \{a_1, a_2, \dots, a_b\}$ , де  $a_m \subseteq \mathbf{a}$  ( $m = \overline{1, b}$ ) – елементи КІІ, які повністю відображають структуру системи КІІ,  $b$  – загальна кількість зазначених елементів.

*Крок 1.4. Формування графу відображення ідентифікованих елементів КІІ.* Графоаналітичне відображення ідентифікованих елементів КІІ представлено неорієнтованим графом (2.12):

$$\Gamma(\{a_m\}, \{p_{m m'}\}), \quad (2.12)$$

де вершини  $a_m$  ( $m = \overline{1, b}$ ) відповідають ідентифікованим елементам КІІ, а ребра  $p_{m m'}$  – зв'язкам між елементами  $a_m$ , де ( $m = \overline{1, b}$ ,  $m' = \overline{1, b}$ ,  $m \neq m'$ ) (див.рис.2.9).

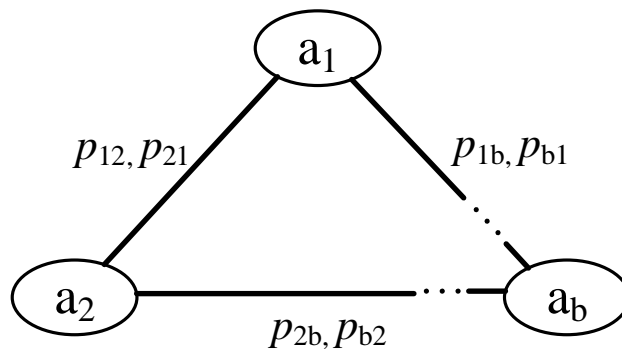


Рис.2.9. Графоаналітичне відображення ідентифікованих  $a_m$

## Етап 2. Формування можливих чинників впливу на елемент КІІ

*Крок 2.1. Формування множини зон впливу.* На цьому кроці формується

відповідна множина зон впливу  $\mathbf{Z} = \left\{ \bigcup_{ci=1}^v Z_{ci} \right\} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_v\}$ , де  $Z_{ci} \subseteq \mathbf{Z}$  ( $ci = \overline{1, v}$ ) –

зони впливу на ЕІІ,  $v$  – загальна кількість зон впливу, яка задовольняє наступній умові: в кожену зону  $Z_{ci}$  потрапляє один елемент КІІ  $a_m$  (може бути введено множину зон, які є частинами території розташування системи КІІ).

*Крок 2.2. Формування чинників впливу на елемент КІІ.* Для формування можливих чинників впливу введемо відповідну множину

$\Phi = \left\{ \bigcup_{di=1}^s \Phi_{di} \right\} = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s\}$ , де  $\Phi_{di} \subseteq \Phi$  ( $di = \overline{1, s}$ ) – чинники впливу на ЕІІ  $a_m$ ,

$s$  – загальна кількість зазначених чинників впливу. Кожен чинник  $\Phi_{di}$  для певної зони  $Z_{ci}$  може бути представлений у вигляді множини параметрів

$\mathbf{O}^{\Phi_{di}} = \left\{ \bigcup_{ei=1}^z O_{ei}^{\Phi_{di}} \right\} = \{O_1^{\Phi_{di}}, O_2^{\Phi_{di}}, \dots, O_z^{\Phi_{di}}\}$ , де  $O_{ei}^{\Phi_{di}} \subseteq \mathbf{O}^{\Phi_{di}}$  ( $ei = \overline{1, z}$ ) – параметри

чинників впливу  $\Phi_{di}$  на ЕІІ  $a_m$ ,  $z$  – загальна кількість параметрів чинника  $\Phi_{di}$ ,

що формується на основі експертних знань та може описуватись текстовим повідомленням чи містити кількісні показники. У результаті виконання перерахованих операцій формується множина можливих чинників впливу  $\Phi_{di}$ ,

у якій кожен чинник є набором  $\Phi_{di}(Z_{ci}, O_{ei}^{\Phi_{di}})$ .

### Етап 3. Визначення ступеню пошкодження та ваги впливу чинника на елемент КП

Для кожного визначеного чинника впливу  $\Phi_{di}$  та елемента КП  $a_m$ , згідно [39], фіксуються значення двох величин  $d_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  та  $\varphi_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  – ступінь пошкодження елемента  $a_m$  та ваги впливу чинника  $\Phi_{di}$  на ЕП відповідно, де  $gi = \overline{1, f}$ ,  $f = b \cdot s$ . Для оцінювання ступеню пошкоджень елементів  $d_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  використовується лінгвістична шкала, що відображена наступним чином: *Damage absent* – «0» (ЕП не піддався впливу або вплив був незначний); *Middle damage* – «1» (вплив на ЕП визвав значне пошкодження обладнання); *Complete failure* – «2» (вплив на ЕП привів до повного руйнування). Точні значення лінгвістичних змінних *Damage absent*, *Middle damage*, *Complete failure* встановлюється для кожної системи КП індивідуально.

Далі кожен експерт  $E_j$  визначає  $d_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  та  $\varphi_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  для всіх елементів  $a_m$  та всіх чинників  $\Phi_{di}$ . До того ж, для будь-якого ЕП  $a_m$  має виконуватись умова  $\sum_{di=1}^s \varphi_{di}(a_m) = 1$ . Після цього відбувається обробка даних, отриманих від всіх експертів  $E_j$ , у якості узгоджених оцінок ступеню пошкодження ЕП  $d_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  і ваги впливу  $\varphi_{gi}(a_m, \Phi_{di})$  на елементи КП приймаються значення відповідно до (2.13):

$$d(a_m, \Phi_{di}) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \frac{1}{N} \sum_{gi=1}^f d_{gi}(a_m, \Phi_{di}) < t_0; \\ 1, \text{ якщо } t_0 \leq \frac{1}{N} \sum_{gi=1}^f d_{gi}(a_m, \Phi_{di}) < t_1; \\ 2, \text{ якщо } t_1 \leq \frac{1}{N} \sum_{gi=1}^f d_{gi}(a_m, \Phi_{di}); \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\varphi(a_m, \Phi_{di}) = \frac{1}{N} \sum_{di=1}^s \varphi_{di}(a_m, \Phi_{di}).$$

де значення порогових величин  $t_0, t_1$  задовольняють умові  $0 < t_0 < t_1 \leq 2$  і встановлюється заздалегідь та можуть переглядатися в залежності від системи КП.

#### Етап 4. Формування функцій впливу елементів КП

*Крок 4.1. Визначення відношень впливу між елементами КП.* На цьому кроці визначаються і узгоджуються існування відношень впливу між елементами КП за наступним правилом: два елементи КП  $a_m$  та  $a_{m'}$  ( $m = \overline{1, b}, m' = \overline{1, b}, m \neq m'$ ) пов'язані відношенням впливу, якщо пошкодження елемента  $a_m$  викликає пошкодження елемента  $a_{m'}$ . Отже для кожної можливої пари елементів КП  $(a_m, a_{m'})$  кожен експерт  $E_j$  вказує значення відношення впливу  $r$  наступним чином ( $r \in [-; +]$ ): якщо вплив має місце, то ставиться «+», якщо ні – «-». Далі відбувається обробка даних отриманих від кожного  $E_j$ , де значення  $K_{mm'}$  дорівнює кількості «+» у рядку, що відповідає парі  $(a_m, a_{m'})$ , а значення  $r_w$  – узгоджена оцінка, приймає значення «+», якщо у відповідному рядку виконується нерівність:  $K_{mm'} > \beta N$ , «-» – якщо не виконується. Значення величини  $0 < \beta < 1$  встановлюється заздалегідь та може переглядатися в залежності від системи КП.

*Крок 4.2. Визначення функцій взаємовпливу між парами елементів КП.* Для визначення величини впливу пошкоджених елементів на інші елементи КП, на основі підходу запропонованого у [39], кожен експерт  $E_j$  фіксує значення функції впливу –  $h_{mm'}(d_{gi})$ . Визначення останньої здійснюється наступним чином: для пар ЕП  $(a_m, a_{m'})$ , для яких на кроці 4.1 встановлено відношення впливу  $r_w = \text{«+»}$ , необхідно вказати значення  $h_{mm'}$ , яке показує ступінь впливу на елемент  $a_{m'}$ , при пошкодженні елемента  $a_m$  (визначення  $h_{mm'}$  проводиться відносно двох рівнів ступеня впливу *Middle damage* – «1», та *Complete failure* – «2»). Далі отримані від всіх експертів  $E_j$  дані обробляються – в якості узгоджених оцінок функції впливу

$h_{mm'}^y(d)$  для пари  $(a_m, a_{m'})$  приймаються значення відповідно до (2.14), де  $y = \overline{1, u}$ . Гранична величина  $\tau$  задовольняє умові  $0 < \tau \leq 2$ , встановлюється заздалегідь та може переглядатися у залежності від системи КП.

$$h_{mm'}^y(d) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \frac{1}{N} \sum_{y=1}^u h_{mm'}^y(d) \leq \tau, \\ 2, \text{ якщо } \tau < \frac{1}{N} \sum_{y=1}^u h_{mm'}^y(d), d = 1, 2. \end{cases} \quad (2.14)$$

### Етап 5. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи КП

Відображення функціональних процесів системи КП на основі підходу, описаного в [40], можна представити орієнтованим ациклічним графом (2.15):

$$G(\{\{B_{ii}\} \cup \{A_q\} \cup \{C_{ji}\}, \{P_{qq'}\}\}), \quad (2.15)$$

де вершини  $A_q, (q = \overline{1, x})$  – функціональні операції, які виконує один ЕП  $a_m$  ( $x$  – загальна кількість функціональних операцій), вершини  $B_{ii} (ii = \overline{1, g})$  та  $C_{ji} (gi = \overline{1, w})$  вхідні та вихідні дані операцій систем відповідно (відносно даної системи, де  $g$  – загальна кількість вхідних даних,  $w$  – загальна кількість вихідних даних), а ребра  $P_{qq'}$  – зв'язки між операціями  $A_q, A_{q'}$ , де  $q = \overline{1, x}, q' = \overline{1, x}, q \neq q'$ .

Наявність в графі орієнтованого ребра  $P_{qq'}$ , яке йде з вершини  $A_q$  до вершини  $A_{q'}$ , означає, що спочатку виконується операція  $A_q$ , а потім  $A_{q'}$ . Ребро, що йде з  $B_{ii}$  в  $A_q$ , назване вхідним для даної системи, символізує, що на вхід операції  $A_q$  надходять дані, які є результатом виконання операції  $B_{ii}$ . У свою чергу, ребро, що йде з  $A_q$  в  $C_{ji}$ , назване вихідним для даної системи, символізує, що на вхід операції  $C_{ji}$  надходять дані, які є результатом виконання операції  $A_q$  (див. рис. 2.10).

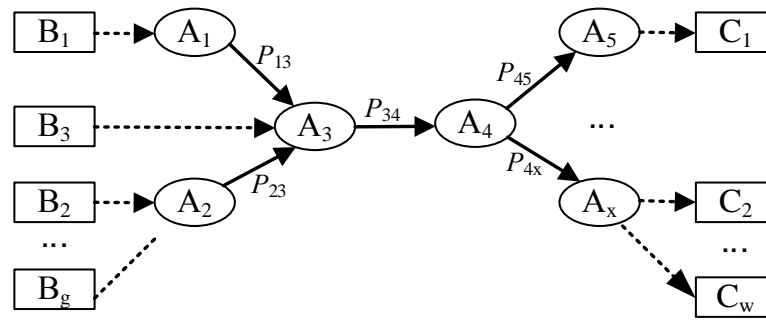


Рис. 2.10. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи КІІ

Таке представлення дозволяє відобразити у зручному вигляді формалізований опис функціональних етапів операцій та зв'язків між ними, а також відповідні вхідні та вихідні дані.

### Етап 6. Оцінювання якості функціонування системи КІ

Наслідком впливу на ЕП може бути зниження якості виконання функціональних операцій. Для оцінювання значення якості виконання функціональних операцій  $Q(A_q)$  вводиться така лінгвістична шкала: *Normal* – «0» (операція виконується у відповідності з функціональним регламентом); *Deviation* – «1» (операція виконується, але спостерігаються суттєві відхилення від функціонального регламенту); *Interruption* – «2» (операція не виконується).

Матриця впливу  $Q_d^q(d(a_m))$  відображає виконання функціональної операції  $A_q$  за умови, що ЕП  $a_m$  має відповідне пошкодження  $d(a_m)$  та формується послідовно кожним експертом  $E_j$  для всіх ЕП та їх відповідних операцій, де верхній індекс виразу  $Q_d^q$  відповідає номеру операції, а нижній значенню пошкодження  $d \in \{0,1,2\}$ .

Далі відбувається обробка даних, отриманих від кожного експерта  $E_j$ , у якості узгодженої оцінки виконання функціональної операції приймається значення згідно (2.16), де порогові значення  $s_0, s_1$  задовольняють умові  $0 < s_0 < s_1 \leq 2$  (встановлюються керівником та експертами заздалегідь і можуть переглядатися в залежності від системи КІІ).

$$Q(A_q) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \frac{1}{N} \sum_{q,d,m} Q_d^q(d(a_m)) < s_0; \\ 1, \text{ якщо } s_0 \leq \frac{1}{N} \sum_{q,d,m} Q_d^q(d(a_m)) < s_1; \\ 2, \text{ якщо } s_1 \leq \frac{1}{N} \sum_{q,d,m} Q_d^q(d(a_m)). \end{cases} \quad (2.16)$$

Ранжування узгоджених за всіма  $E_j$  якостей функціонування системи КП відбувається шляхом порівняння кількісних значень отриманих в матриці впливу. Сума кількісних показників якості  $Q(A_q)$ , одержаних для одного ЕП  $a_m$ , порівнюється з сумою кількісних показників якості  $Q(A_q)$ , одержаних для інших ЕП та ранжується наступним чином:  $\{VEI_1 > VEI_2 > \dots > VEI_o\}$ , де множина  $\mathbf{VEI} = \{\bigcup_{li=1}^o VEI_{li}\} = \{VEI_1, VEI_2, \dots, VEI_o\}$ ,  $VEI_{li} \subseteq \mathbf{VEI}$ ,  $(li = \overline{1, o})$  – ранжовані за порядком важливості для системи ЕП,  $o$  – номер за порядком ранжованих ЕП відносно суми показників якості (слід зазначити, що кількість  $o = b$ ).

Таким чином, розроблений метод ідентифікації, який за рахунок графоаналітичного відображення елементів КІ і їх функціональних процесів, формування можливих чинників і функцій впливу, а також матриці впливу елементів інфраструктури на функціональні операції, дає можливість визначити (ідентифікувати) елементи галузі КІ, їх взаємовплив та вплив на функціональні операції КАІС.

## 2.5. Висновки до другого розділу

Розроблено уніфіковану модель даних, яка дозволяє формалізувати процес формування переліку об'єктів КП держави та визначити їх зв'язність (співвідношення  $q$ -зв'язків множин КЗ та КАІС). Крім того, створено методіку, яка дозволяє формувати перелік об'єктів КП певної галузі та на загальнодержавному рівні. Розроблено метод ідентифікації, який дає можливість визначити елементи галузі КП, їх взаємовплив та вплив на функціональні операції КАІС.

## 2.6. Список літератури до другого розділу

1. С. Гнатюк, М. Рябий, В. Лядовська, «Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захисту: аналіз підходів», *Зв'язок*, №4, С. 3-7, 2014.

2. С. Гнатюк, В. Сидоренко, О. Дуксенко, «Сучасні підходи до виявлення та ідентифікації найбільш важливих об'єктів критичної інфраструктури», *Безпека інформації*, том 21, №3, с. 269-275, 2015.

3. О. Довгань, «Критична інфраструктура як об'єкт захисту від кібернетичних атак», *Матеріали наук.-практ. конф. «Інформаційна безпека: виклики і загрози сучасності»*. К: НА СБ України, с. 17-20, 2013.

4. Д. Бірюков, С. Кондратов, «Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні». К: НІСД, 96 с, 2012.

5. Постанова про затвердження Порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави. Постанова Кабінету Міністрів України від 23.08.2016, №563. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>.

6. Doc 8973 ICAO «Керівництво з авіаційної безпеки» (Restricted), вид. 9, 818 с, 2014.

7. Doc 30 «Політика ЕСАС у сфері авіаційної безпеки» (Restricted) вид. 13, 138 с., 2010.

8. С. Гнатюк, В. Сидоренко, Н. Сейлова, «Універсальна модель даних для формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави», *Безпека інформації*, том 23, №2, с. 80-91, 2017.

9. V. Sydorenko, T. Zhmurko, Yu. Polishchuk, S. Gnatyuk, «Data model for forming critical infrastructure objects and determining its connectivity», *Inzynier XXI wieku, Monografia, Bielsko-Biala, Poland* : АТН, р. 329-350, 2017.

10. С. Гнатюк, Д. Васильєв, «Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи», *Безпека інформації*, т. 2, №1, с. 51-57, 2016.

11. Система воздушных сигналов. URL: <http://tnlnk.tk/at/3723b86>. [Дата доступа: июль 2017 ].

12. Система управління польотом літака. URL: <http://tnlnk.tk/at/5831d99>. [Дата доступа: липень 2017 ].



13. В. Харченко, І. Остроумов, «Авіоніка: навчальний посібник». К. : НАУ, 272 с., 2013.

14. Класифікація систем керування літаком. URL: [http://stud.opedia.su/10\\_106505\\_1--klasifikatsiya-sistem-keruvannya-litakom--c--.html](http://stud.opedia.su/10_106505_1--klasifikatsiya-sistem-keruvannya-litakom--c--.html). [Дата доступу: липень 2017 ].

15. Виникнення та еволюція комп'ютерних систем бронювання. URL: [http://pidruchniki.com/15801117/turizm/viniknennya\\_evolyutsiya\\_kompyuternih\\_sistem\\_bronyuvannya](http://pidruchniki.com/15801117/turizm/viniknennya_evolyutsiya_kompyuternih_sistem_bronyuvannya).

16. Посібник з BSP для Агентів Місцевої Процедури. URL: <http://www.iata.org/Sites/FMC/Files/ukraine-local-procedures-bsp-ukranian.pdf>. [Дата доступу: липень 2017 ].

17. Non-directional beacon. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-directional\\_beacon](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-directional_beacon). [Дата доступу: квітень 2018].

18. Всенаправленный дальномерный радиомаяк. URL: <http://tnlnk.tk/at/93517ba>. [Дата доступу: апрель 2018].

19. Радіомаячні системи посадки (РМСП). URL: <http://referatu.in.ua/radiotekhnichne-obladnannya-litakovodinnya.html?page=4>. [Дата доступу: квітень 2018].

20. Використання складних широкосмугових сигналів у системі мультілатерації MLAT. URL: <http://masters.donntu.org/2014/frt/gontsa/diss/index.htm>. [Дата доступу: квітень 2018].

21. Автоматичне залежне спостереження - радіомовне (ADS-B). URL: <http://catcut.net/2Bav>. [Дата доступу: квітень 2018].

22. Організація та управління використанням (менеджмент) повітряного простору. URL: <http://uksatse.ua/index.php?act=Part&CODE=311>. [Дата доступу: квітень 2018].

23. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция «КРАМС-4». URL: [http://www.iram.ru/iram/all\\_main.php?js=1&list\\_par=20-0](http://www.iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0). [Дата доступу: апрель 2018].

24. SADIS inventory. URL: <https://www.icao.int/airnavigation/METP/MOG/SADIS%20Reference%20Documents/SADIS%20Inventory.pdf>. [Дата доступу: квітень 2018].

25. І. В. Остроумов, Н.С. Кузьменко. «Моніторинг повітряного руху за повідомленнями ACARS», Авіа-2011: міжнародна науково-технічна конференція, 19–21 квітня 2011 р. : матеріали конференції, К., т.2, с. 7.44–7.47, 2011.

26. О. Голуб, С. Шеремет, «Супутникові системи навігації на транспорті», Електронний підручник. URL: [http://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria2.html](http://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria2.html). [Дата доступу: вересень 2017].

27. Інерціальна навігація. URL: <http://tnlnk.tk/at/519add7>. [Дата доступу: квітень 2018].

28. Автоматический средневолновый радиоконпас АРК-9. Техническое описание, инструкция по эксплуатации, приложения 1,2. URL: [http://aviadocs.net/RLE/Mi-8/CD1/Sistemi/ARK-9\\_TOIYE.pdf](http://aviadocs.net/RLE/Mi-8/CD1/Sistemi/ARK-9_TOIYE.pdf). [Дата доступу: квітень 2018].

29. Радіотехнічна система посадки повітряних кораблів метрового діапазону хвиль, ILS. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ILS>. [Дата доступу: квітень 2018].

30. Система отображения воздушной обстановки и предотвращения столкновений самолетов в воздухе TCAS, ACAS II, Руководство для летчиков, с. 90.

31. Ф. Яновський, Метеонавігаційні радіолокаційні системи повітряних суден, К.: НАУ, 2003, 304 с.

32. В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін, Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден, К.: НАУ, 2005, 314 с.

33. Бронирование авиаперевозок в системе. AMADEUS. URL: [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 доступу: травень 2017].

34. Austrian Serbian Tourism Programmes Lesson 7 Amadeus AIR. URL: <https://www.slideshare.net/AngelinaNjegus/lesson-7-amadeus-air>. [Дата доступу: травень 2017].

35. TAIS Airline Solution — система обслуговування авіапасажирів. URL: <http://tais.ru/solution/icarus/>.

36. А.Б. Качинський, «Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи», К.: Інститут проблем національної безпеки, 472 с., 2003.

37. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні.  
URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2016\\_book/Sygodolya\\_ost.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2016_book/Sygodolya_ost.pdf).

38. С. Гнатюк, В. Кінзерявий, В. Сидоренко, «Метод ідентифікації об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в авіаційній галузі», *Information technology and security*, July-December 2017, vol. 5, p. 27- 39, 2017.

39. В. Шершаков, Э. Трахтенгерц, Д. Камаев, «Сетецентрические методы компьютерной поддержки управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций», ЛЕНАНД, 160 с., 2015.

40. А. Андреев, Д. Камаев, Э. Трахтенгерц, «Экспертное прогнозирование последствий повреждения систем жизнеобеспечения», *Управление Большими Системами*, вып. 25, с. 243–293, 2009.

## РОЗДІЛ 3

### ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КІБЕРБЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

#### **3.1. Метод визначення рівня важливості об'єктів КІІ в галузі цивільної авіації**

Запропонований в [1, 2] метод визначення рівня важливості об'єктів КІІ, є удосконаленим методом оцінювання рівня критичності відповідно [3], який реалізується в такі етапи (див. рис. 3.1): 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.

Реалізувавши 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

Ісикави, що дозволяє виділити пріоритетні напрямки розробки коригувальних заходів для переривань роботи; список коригувальних заходів для зменшення критичності найбільш значущих переривань роботи.

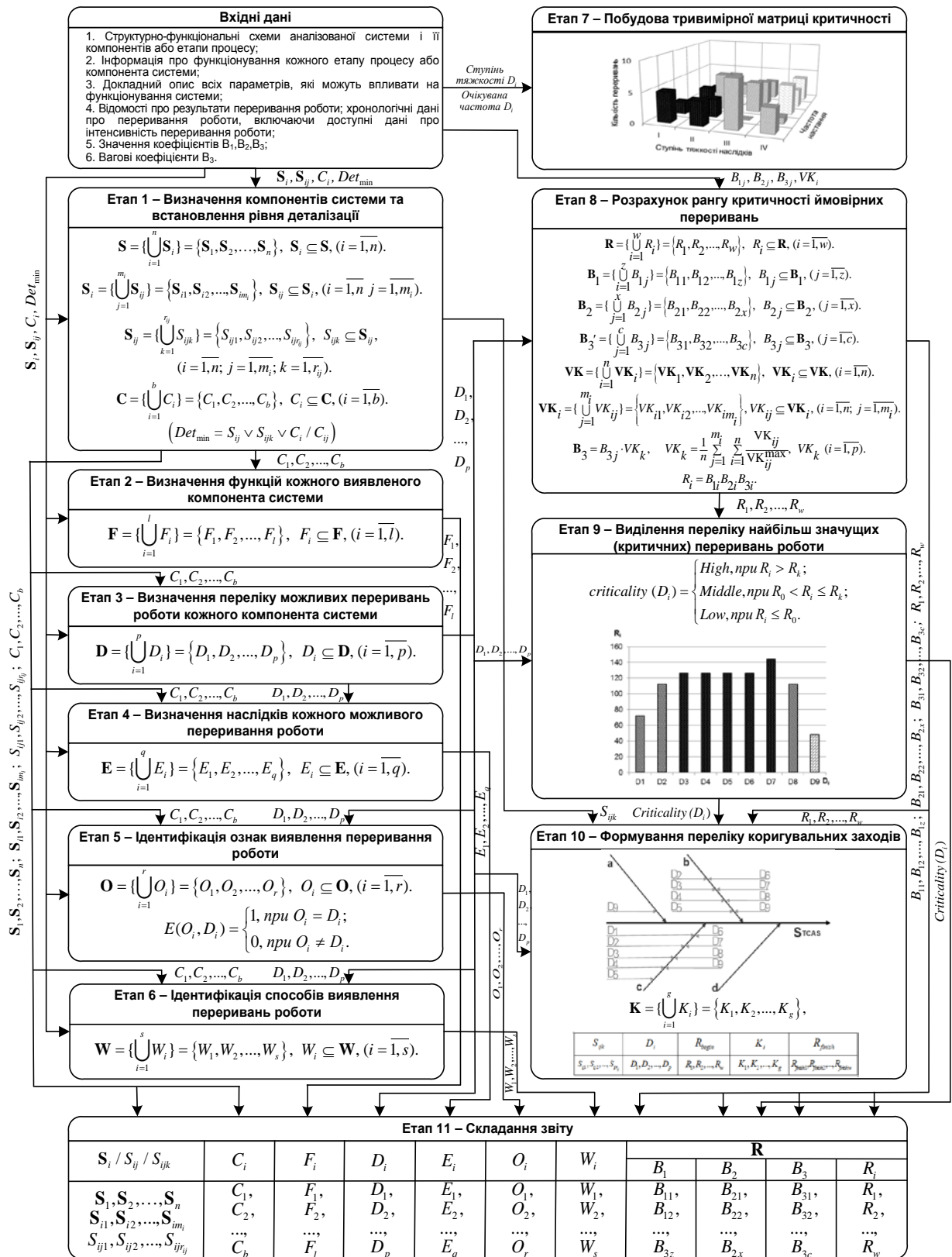


Рис. 3.1. Схема реалізації методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ

Розглянемо детально кожен з етапів реалізації запропонованого методу.

**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 1.1.* Згідно запропонованої уніфікованої моделі даних введемо повну множину КАІС  $\mathbf{S}$  відповідно до (2.1), (рівень деталізації  $l=1$ , визначений за (2.8)), де  $\mathbf{S}_i \subseteq \mathbf{S}$ , ( $i = \overline{1, n}$ ) – клас систем КАІС,  $n$  – загальна кількість класів систем.

*Крок 1.2.* Множина класів  $\mathbf{S}_i$  може бути представлена у вигляді множини систем відповідно до (2.2), (рівень деталізації  $l=2$ , визначений за (2.8)), де  $\mathbf{S}_{ij} \subseteq \mathbf{S}_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ) – системи  $i$ -го класу,  $m_i$  – кількість систем  $i$ -го класу.

*Крок 1.3.* Множина систем  $\mathbf{S}_{ij}$  може бути представлена у вигляді множини підсистем відповідно до (2.4), (рівень деталізації  $l=3$ , визначений за (2.8)), де  $\mathbf{S}_{ijk} \subseteq \mathbf{S}_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ ,  $k = \overline{1, r_{ij}}$ ) – множина підсистем системи  $\mathbf{S}_{ij}$ ,  $r_{ij}$  – кількість підсистем  $ij$ -го класу.

*Крок 1.4.* Введемо множину компонентів  $\mathbf{C}$ , що характеризуватиме  $\mathbf{S}_{ij}/\mathbf{S}_{ijk}$ :

$$\mathbf{C} = \left\{ \bigcup_{i=1}^b C_i \right\} = \{C_1, C_2, \dots, C_b\}, \quad (3.1)$$

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

*Крок 1.5.* Встановимо мінімальний рівень деталізації ( $Det_{\min}$ ) для опису та декомпозиції системи. Метою аналізу  $\mathbf{S}_{ij}/\mathbf{S}_{ijk}$  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.

**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:

$$\mathbf{F} = \left\{ \bigcup_{i=1}^l F_i \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_l\}, \quad (3.2)$$

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

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

$$\mathbf{D} = \left\{ \bigcup_{i=1}^p D_i \right\} = \{D_1, D_2, \dots, D_p\}, \quad (3.3)$$

де  $D_i \subseteq \mathbf{D}$ ,  $(i = \overline{1, p})$  – переривання роботи компонента  $C_i$ ,  $p$  – загальна кількість переривань роботи.

**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  $D_i$  введемо множину наслідків  $\mathbf{E}$ :

$$\mathbf{E} = \left\{ \bigcup_{i=1}^q E_i \right\} = \{E_1, E_2, \dots, E_q\}, \quad (3.4)$$

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

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

$$\mathbf{O} = \left\{ \bigcup_{i=1}^r O_i \right\} = \{O_1, O_2, \dots, O_r\}, \quad (3.5)$$

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

Для кожної виявленої ознаки  $O_i$  кожного можливого переривання роботи  $D_i$  введемо функцію еквівалентності (3.6), яка приймає значення «1» при виявленні ознаки  $D_i$  та «0» при не виявленні відповідної ознаки  $D_i$ :

$$E(O_i, D_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } O_i = D_i; \\ 0, & \text{при } O_i \neq D_i. \end{cases} \quad (3.6)$$

**Етап 6. Ідентифікація способів виявлення переривань роботи.** Для визначення способів виявлення кожного можливого  $D_i$  введемо множину способів виявлення  $\mathbf{W}$ :

$$\mathbf{W} = \left\{ \bigcup_{i=1}^s W_i \right\} = \{W_1, W_2, \dots, W_s\}, \quad (3.7)$$

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

**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 (А), ймовірний (В), рідкісний (С), дуже рідкісний (D), неможливий (E)) [4, 5]. Можливі значення ймовірності виникнення виду переривань роботи регламентовані в [6] (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1

## Рівні ймовірності виникнення переривань роботи

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

У табл. 3.2 представлена рекомендована у [4] класифікаційна матриця оцінки частоти і значущості переривань роботи за категоріями I-IV.

Таблиця 3.2

## Оцінка значимості переривання роботи

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 [4]. Третій параметр – кількість  $D_i$ , згідно [7], з'являється під час заповнення таблиці (рис. 3.2) при фіксованій категорії і частоті.

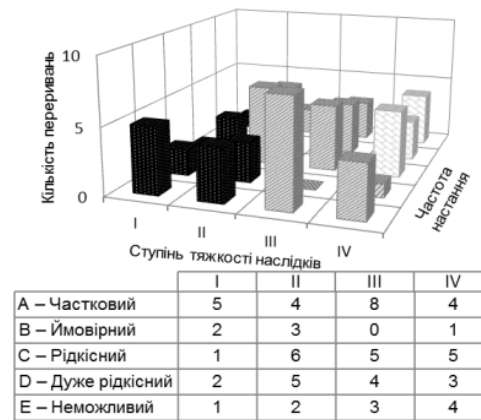


Рис. 3.2. Приклад побудови тривимірної матриці критичності

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

$$\mathbf{R} = \left\{ \bigcup_{i=1}^w R_i \right\} = \{R_1, R_2, \dots, R_w\}, \quad (3.8)$$

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

Ранг критичності  $D_i$  компонента  $C_i$  розраховується таким чином [4, 8-10]:

$$R_i = B_{1j} \cdot B_{2j} \cdot B_{3j}. \quad (3.9)$$

*Крок 8.1.* Для визначення показника  $B_{1j}$  (оцінка частоти (ймовірності) настання потенційного  $D_i$  компонента  $C_i$ ) введемо відповідну множину:

$$\mathbf{B}_1 = \left\{ \bigcup_{j=1}^z B_{1j} \right\} = \{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1z}\}, \quad (3.10)$$

де  $B_{1j} \subseteq \mathbf{B}_1, (j = \overline{1, z})$ , значення  $z$  знаходяться за відповідною таблицею, сформованою апріорі у залежності від типу КАІС. У табл. 3.3 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  $D_i$ .

Таблиця 3.3

Апріорні значення коефіцієнта  $B_1$ 

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

Для визначення показника  $B_{1j}$  значення  $z$  знаходимо згідно [8, 9], відповідно до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Значення коефіцієнта  $B_1$ 

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	$8 \cdot 10^{-6} \dots 2 \cdot 10^{-6}$	3
	$2 \cdot 10^{-6} \dots 8 \cdot 10^{-5}$	4
Можливий	$8 \cdot 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-5}$	5
	$2 \cdot 10^{-5} \dots 8 \cdot 10^{-4}$	6
Частковий	$8 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-4}$	7
	$2 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-3}$	8
Дуже частковий	$5 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-3}$	9
	$> 2 \cdot 10^{-3}$	10

Крок 8.2. Для визначення показника  $B_{2j}$  (оцінка ймовірності виявлення  $D_i$  компонента  $C_i$  до його проявлення) введемо відповідну множину:

$$\mathbf{B}_2 = \left\{ \bigcup_{j=1}^x B_{2j} \right\} = \{B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2x}\}, \quad (3.11)$$

де  $B_{2j} \subseteq \mathbf{B}_2$ , ( $j = \overline{1, x}$ ), значення  $x$  знаходяться аналогічно за таблицею, сформованою апіорі в залежності від типу КАІС. У табл. 3.5 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  $D_i$ .

Таблиця 3.5

Апріорні значення коефіцієнта  $B_2$ 

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

Для визначення показника  $B_{2j}$  значення  $x$  знаходимо згідно [8, 9], відповідно до табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Значення коефіцієнта  $B_2$ 

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 долі дефектів при монтажі чи контролі у замовника	6
Підвищена ймовірність не виявити дефект	7
Ймовірність того, що контроль не виявить дефект	8
Ймовірність не виявити дефект	9
Ймовірність того, що дефект прихований і не буде виявлений	10

Крок 8.3. Аналогічним чином, для визначення показника  $B_{3j}$  (оцінка тяжкості  $D_i$  компонента  $C_i$ ) введемо множину:

$$\mathbf{B}_3 = \left\{ \bigcup_{j=1}^c B_{3j} \right\} = \{B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}\}, \quad (3.12)$$

де  $B_{3j} \subseteq \mathbf{B}_3$ , ( $j = \overline{1, c}$ ), де значення  $c$  знаходяться аналогічно до табл. 3.3 та табл. 3.5 (див. табл. 3.7, у якій  $\langle Consequence \rangle$  – лінгвістична змінна, що характеризує наслідки переривань  $D_i$ ).

Таблиця 3.7

Апріорні значення коефіцієнта  $\mathbf{B}_3$ 

Наслідки переривання $D_i$	Значення $\mathbf{B}_3$ , бали
$\langle Consequence \rangle$	$B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3c}$

Для визначення показника  $B_{3j}$  значення  $c$  знаходимо згідно [8, 9], відповідно до табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Значення коефіцієнта  $B_3$ 

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

Також слід зазначити, що при виділенні переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи за обчисленим 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  $R_i = 2 \cdot 7 \cdot 9 = 126$ ;

– 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  $B_3$ , 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.

*Крок 8.4.* Розрахунок вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи.

*Крок 8.4.1.* Введемо множину вагових коефіцієнтів  $\mathbf{VK}$ , що коригуватиме значення показника  $B_{3i}$  (оцінка тяжкості переривань роботи  $D_i$  компонента  $C_i$ ):

$$\mathbf{VK} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{VK}_i \right\} = \{ \mathbf{VK}_1, \mathbf{VK}_2, \dots, \mathbf{VK}_n \}, \quad (3.13)$$

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

*Крок 8.4.2.* Множина критеріїв  $\mathbf{VK}_i$  може бути представлена у такому вигляді:

$$\mathbf{VK}_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} \mathbf{VK}_{ij} \right\} = \{ \mathbf{VK}_{i1}, \mathbf{VK}_{i2}, \dots, \mathbf{VK}_{im_i} \}, \quad (3.14)$$

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.

*Крок 8.4.3.* Визначимо елементи множини показників  $\mathbf{B}'_3$  наступним чином:

$$\mathbf{B}'_3 = B_{3j} \cdot \mathbf{VK}_k, \quad (3.15)$$

де значення вагового коефіцієнта  $VK_k$  ( $k = \overline{1, p}$ ) для кожного можливого переривання роботи  $D_i$  розраховується таким чином:

$$VK_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{i=1}^n \frac{VK_{ij}}{VK_{ij}^{\max}}, \quad (3.16)$$

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

*Крок 8.5.* Розрахунок рангу критичності  $R_i$  кожного з перерахованих видів переривань роботи  $D_i$  згідно до (3.9).

**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  $R_k$ . Критичність змінюється в діапазоні від  $R_{\min} = B_{11} \cdot B_{21} \cdot B_{31}$  до  $R_{\max} = B_{1z} \cdot B_{2x} \cdot B_{3c}$ . Зазвичай у якості граничного значення призначають  $R_k = \frac{1}{2}(B_{1z} \cdot B_{2x} \cdot B_{3c})$ , при чому  $R_{\min} < R_k < R_{\max}$ . До того ж, для прикладу, згідно [6-7],  $R_{\min} = 1$ ,  $R_{\max} = 10^3$ ,  $R_k = 125$ , а рекомендоване значення  $R_0 = 60$ . Введемо правила для визначення критичності  $D_i$   $criticality(D_i) \in \{High, Middle, Low\}$ :

$$criticality(D_i) = \begin{cases} High, \text{npu } R_i > R_k; \\ Middle, \text{npu } R_0 < R_i \leq R_k; \\ Low, \text{npu } R_i \leq R_0, \end{cases} \quad (3.17)$$

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*).

Крім того, на цьому етапі для виділення переліку найбільш значущих (критичних)  $D_i$  використовується стовпчаста діаграма Парето [4] (рис. 3.3), 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  $R_i$ , 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.

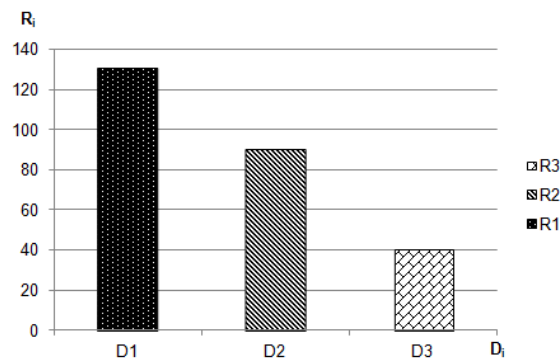


Рис. 3.3. Приклад побудови стовпчастої діаграми Парето

Діаграма Парето допомагає виділити перелік найбільш значущих (критичних)  $D_i$  підсистеми, а також дає можливість порівняти окремі підсистеми за обчисленим  $R_i$  та виділити підсистему, що є більш критичною для КАІС взагалі.

**Етап 10. Формування переліку коригувальних заходів.** Після виконання попереднього етапу проводиться аналіз  $R_i$  переривань  $D_i$  і необхідно імплементувати відповідні корегувальні заходи (напрямки розробки цих заходів впливають з  $B_{1i}, B_{2i}, B_{3i}$ , тобто якщо у добутку  $R_i$  один із множників є найбільшим, то, очевидно, що мета коригувальних заходів має полягати в зниженні саме цього коефіцієнта).

Для складання переліку коригувальних заходів відбувається виявлення причинно-наслідкових закономірностей за діаграмою Ісікави [11] (рис. 3.4), 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. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави поділяє 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).

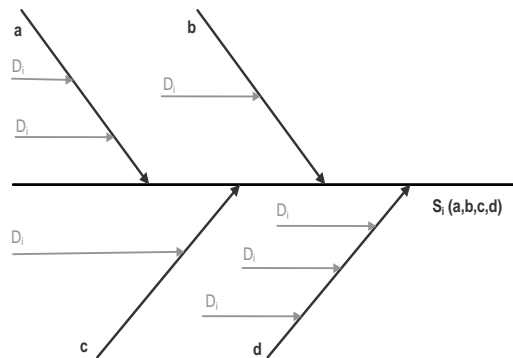


Рис. 3.4. Приклад побудови причинно-наслідкової діаграми Іскави

Для визначення переліку можливих коригувальних заходів кожного  $S_i$  введемо множину коригувальних заходів  $\mathbf{K}$ :

$$\mathbf{K} = \left\{ \bigcup_{i=1}^g K_i \right\} = \{ K_1, K_2, \dots, K_g \}, \quad (3.18)$$

де  $K_i \subseteq \mathbf{K}$ ,  $(i = \overline{1, g})$  – коригувальні заходи,  $g$  – загальна кількість коригувальних заходів. Оцінка ефективності коригувальних заходів проводиться шляхом повторного розрахунку  $R_i$  (див. етап 8). Далі, оперуємо початковим значенням  $R_{begin}$  (до імплементації коригувальних заходів) і кінцевим  $R_{finish}$  (після імплементації коригувальних заходів): якщо  $R_{finish} < R_k$  то коригувальні заходи, спрямовані на підвищення КБ, можна рекомендувати до використання. Перелік  $K_i$  для досліджуваних  $S_{ij}$  формуємо у вигляді табл. 3.9.

Таблиця 3.9

#### Перелік коригувальних заходів

$S_{ijk}$	$D_i$	$R_{begin}$	$K_i$	$R_{finish}$
$S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijn_j}$	$D_1, D_2, \dots, D_p$	$R_1, R_2, \dots, R_w$	$K_1, K_2, \dots, K_g$	$R_{finish.1}, R_{finish.2}, \dots, R_{finish.w}$

**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. 3.10.

Таблиця 3.10

Звіт для всіх рівнів аналізу у загальному вигляді

$S_i / S_{ij} / S_{ijk}$	$C_i$	$F_i$	$D_i$	$E_i$	$O_i$	$W_i$	<b>R</b>			
							$B_1$	$B_2$	$B_3$	$R_i$
$S_1, S_2, \dots, S_n$	$C_1,$	$F_1,$	$D_1,$	$E_1,$	$O_1,$	$W_1,$	$B_{11},$	$B_{21},$	$B_{31},$	$R_1,$
$S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im_i}$	$C_2,$	$F_2,$	$D_2,$	$E_2,$	$O_2,$	$W_2,$	$B_{12},$	$B_{22},$	$B_{32},$	$R_2,$
$S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijr_{ij}}$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
	$C_b$	$F_l$	$D_p$	$E_q$	$O_r$	$W_s$	$B_{3z}$	$B_{2x}$	$B_{3c}$	$R_w$

Таким чином, у табл. 3.10 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. А також на відміну від існуючого методу [3], удосконалений за допомогою діаграми Парето, причинно-наслідкової діаграми Ісікави та розрахунку додаткових вагових коефіцієнтів критичності, дає можливість проводити оцінювання рівня важливості об'єктів КІІ, ранжувати КАІС як за кількісними, так і за якісними параметрами та пропонує множину коригувальних заходів для зменшення виявленого рівня критичності.

### Методика визначення рівня важливості об'єктів КІІ

На основі розробленого методу визначення рівня важливості об'єктів КІІ було створено методику (рис. 3.5), яка дозволяє кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів. Методика складається з наступних кроків:

1) Визначення компонентів системи  $C$  згідно (3.1) за допомогою класів систем  $S$ , множини систем  $S_i$ , множини підсистем  $S_{ij}$ , (використовуючи відповідно (2.1), (2.2) та (2.4)), а також встановлення рівня деталізації  $Det_{\min}$ .

2) Визначення функцій  $F$ , переривань роботи  $D$ , наслідків  $E$ , ознак виявлення  $O$ , способів виявлення переривань роботи  $W$  (використовуючи відповідно (3.2)- (3.7)) та побудова тривимірної матриці критичності.

3) Розрахунок рангів критичності переривань роботи  $R$ , за допомогою  $B_1, B_2, B_3, B'_3, VK$ , виділення переліку критичних переривань роботи *criticality* ( $D_i$ ), (використовуючи відповідно (3.8) – (3.17)) та побудова діаграми Парето.

4) Побудова причинно-наслідкової діаграми Ісікави, визначення коригувальних заходів  $K$ , оцінювання ефективності імплементації  $K$  шляхом повторного розрахунку рангів критичності  $R$  (використовуючи відповідно (3.18), (3.8) – (3.17)) та систематизація отриманих на всіх кроках методики даних у вигляді звіту.

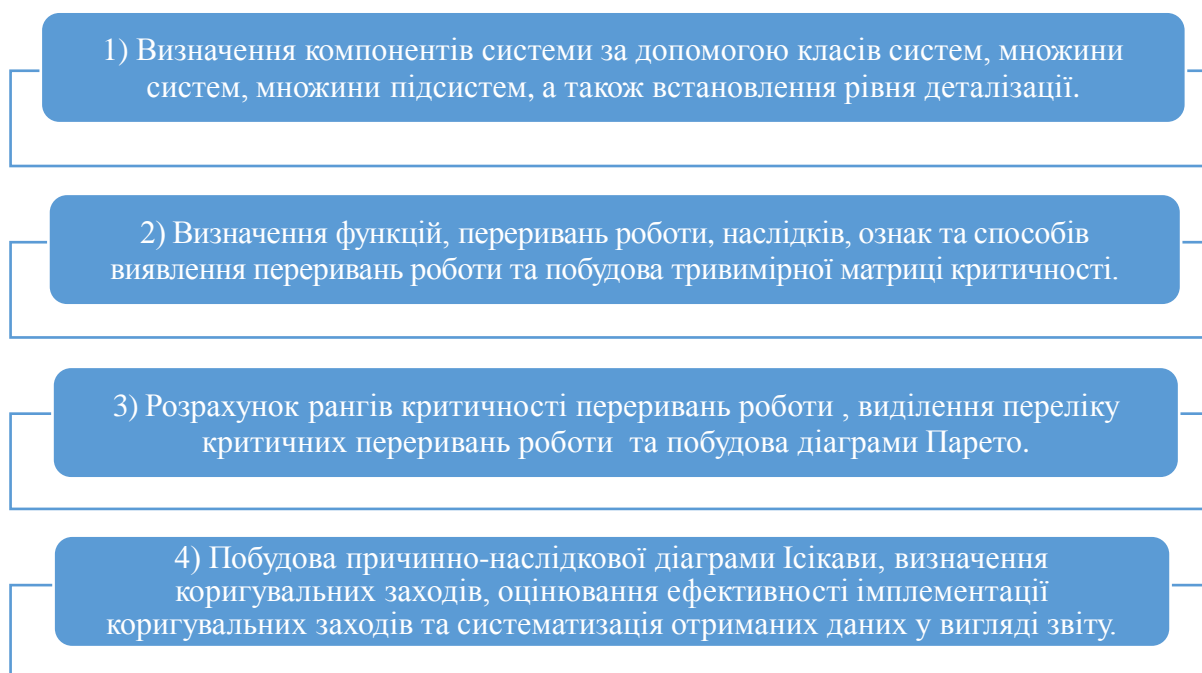


Рис. 3.5. Методика визначення рівня важливості об'єктів КІІ

Запропонована методика дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів.

### 3.2. Метод визначення рівня КБ галузі КІІ держави

Запропонований у [12-13] метод визначення рівня КБ галузі КІІ держави реалізується у такі 3 етапи (див. рис. 3.5): 1. Визначення метрик та індексу КБ галузі КІІ; 2. Визначення метрик розвитку та впровадження ІКТ у галузі КІІ; 3. Розрахунок кількісних параметрів, які характеризують рівень КБ галузі КІІ.

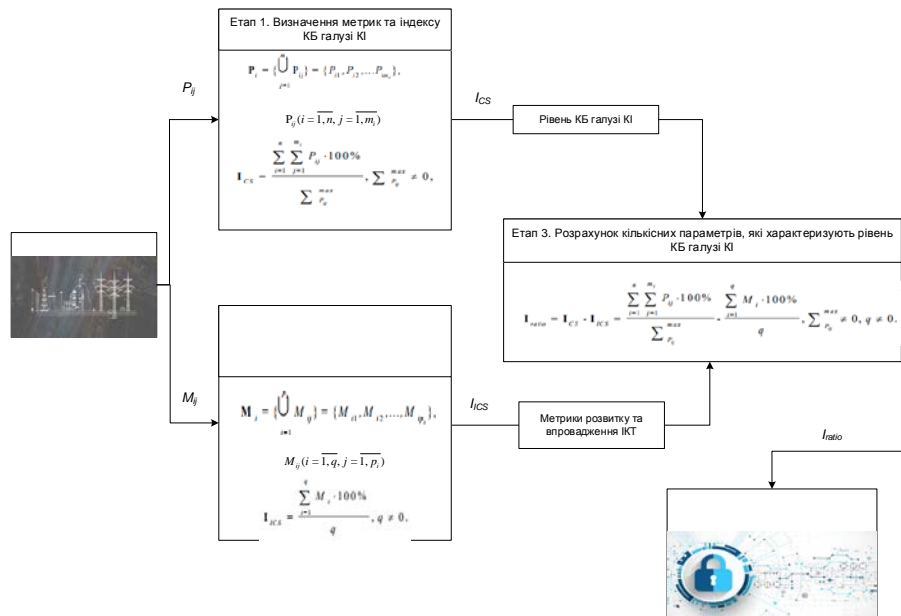


Рис. 3.6. Схема методу визначення рівня КБ галузі КІ держави

Вхідними даними методу є: інформація про КІ, дані про методи і засоби забезпечення КБ, інформація про впроваджені ІКТ.

Вихідними даними методу є: кількісні параметри, які характеризують захищеність певної галузі чи КІ держави в цілому, а саме метрики КБ, метрики розвитку і провадження ІКТ та відповідний індекс КБ.

Розглянемо детально кожен з етапів запропонованого методу.

### Етап 1. Визначення метрик та індексу КБ галузі КІ

Крок 1.1. Формування множин метрик КБ. Введемо базову множину метрик КБ  $\mathbf{P}$ :

$$\mathbf{P} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{P}_i \right\} = \{ \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_n \}, \quad (3.19)$$

де  $\mathbf{P}_i \subseteq \mathbf{P} (i = \overline{1, n})$  – підмножина наборів метрик.

На основі підходу, запропонованого в [14-15], (3.19) можна представити у вигляді зв'язних списків таким чином (рис. 3.7):

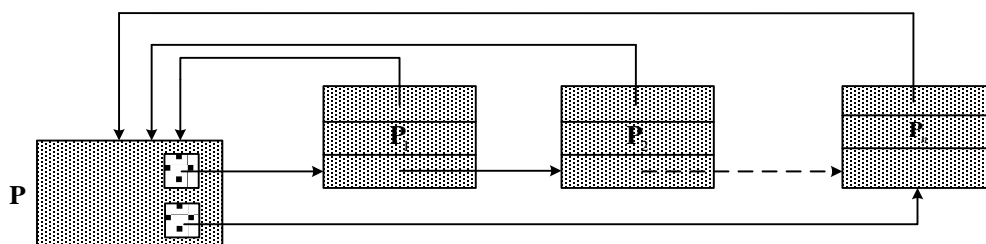


Рис. 3.7. Представлення базової множини метрик КБ у вигляді зв'язних списків

Множина  $\mathbf{P}_i$  може бути представлена у вигляді підмножин:

$$\mathbf{P}_i = \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} P_{ij} \right\} = \{P_{i.1}, P_{i.2}, \dots, P_{i.m_i}\}, \quad (3.20)$$

де  $P_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$ ) – метрики  $i$ -го набору (діапазон значень метрик визначається згідно відповідних стандартів та рекомендованих практик у певній галузі КІІ),  $m_i$  – кількість метрик  $i$ -го набору.

З урахуванням (3.20), вираз (3.19) можна представити у такому вигляді:

$$\mathbf{P} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \mathbf{P}_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^n \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} P_{ij} \right\} \right\} = \{ \{P_{1.1}, P_{1.2}, \dots, P_{1.m_1}\}, \{P_{2.1}, P_{2.2}, \dots, P_{2.m_2}\}, \dots, \{P_{n.1}, P_{n.2}, \dots, P_{n.m_n}\} \}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}). \quad (3.21)$$

Аналогічно, представимо множину (3.21) у вигляді зв'язних списків (рис. 3.8):

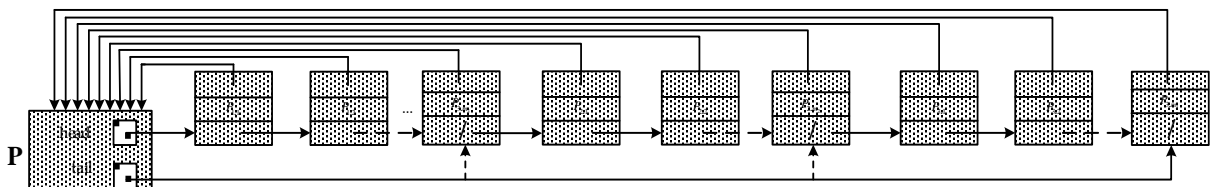


Рис. 3.8 Представлення базової множини метрик КБ з урахуванням системи підмножин у вигляді зв'язних списків

*Крок 1.2. Обчислення індексу, що характеризує рівень КБ галузі КІІ.*  
Обчислення індексу, що характеризує рівень КБ певної галузі КІІ, відбувається згідно (3.19) – (3.21) за допомогою (3.22):

$$\mathbf{I}_{CS} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} P_{ij} \times 100\%}{\sum_{P_{ij}}^{max}}, \sum_{P_{ij}}^{max} \neq 0, \quad (3.22)$$

де  $\sum_{P_{ij}}^{max}$  – сума максимально можливих значень метрик  $P_{ij}$ .

## Етап 2. Визначення метрик розвитку та впровадження ІКТ у галузі КІІ

Крок 2.1. Формалізація метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ. Введемо множину метрик, які характеризують розвиток і впровадження ІКТ  $\mathbf{M}$ :

$$\mathbf{M} = \left\{ \bigcup_{k=1}^q \mathbf{M}_k \right\} = \{ \mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2, \dots, \mathbf{M}_q \}, \quad (3.23)$$

де  $\mathbf{M}_k \subseteq \mathbf{M} (k = \overline{1, q})$  – підмножина метрик розвитку і впровадження ІКТ,  $q$  – кількість підмножин метрик. Аналогічно, враховуючи [14-15], представимо (3.23) у вигляді зв'язних списків (рис. 3.9):

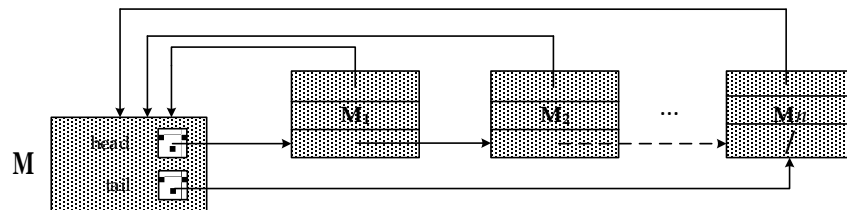


Рис. 3.9. Представлення метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ у вигляді зв'язних списків

Множина  $\mathbf{M}_k$  може бути представлена у вигляді системи підмножин:

$$\mathbf{M}_k = \left\{ \bigcup_{r=1}^{p_i} M_{kr} \right\} = \{ M_{k.1}, M_{k.2}, \dots, M_{k.p_i} \}, \quad (3.24)$$

де  $M_{kr} (k = \overline{1, q}, r = \overline{1, p_i})$  – метрики  $k$ -ї множини,  $p_i$  – кількість метрик  $k$ -ї множини.

Аналогічно, врахувавши (3.24), вираз (3.23) матиме вигляд:

$$\mathbf{M} = \left\{ \bigcup_{k=1}^q \mathbf{M}_k \right\} = \left\{ \bigcup_{k=1}^q \left\{ \bigcup_{r=1}^{p_i} M_{kr} \right\} \right\} = \{ \{ M_{1.1}, M_{1.2}, \dots, M_{1.p_1} \}, \{ M_{2.1}, M_{2.2}, \dots, M_{2.p_2} \}, \dots, \{ M_{q.1}, M_{q.2}, \dots, M_{q.p_q} \} \}, (k = \overline{1, q}, r = \overline{1, p_i}). \quad (3.25)$$

Представимо (3.25) таким чином (рис. 3.10):

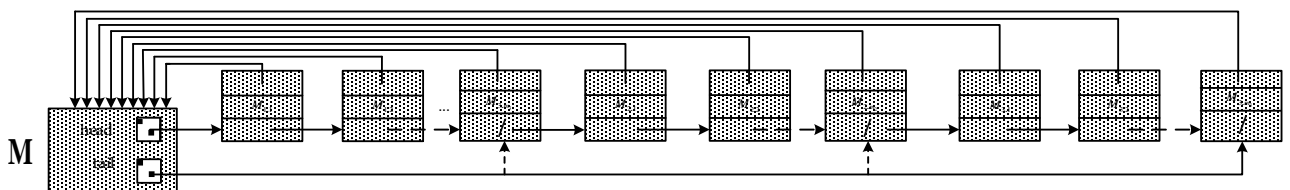


Рис. 3.10. Представлення метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ з урахуванням підмножин у вигляді зв'язних списків

*Крок 2.2. Обчислення метрик розвитку та впровадження ІКТ.* Метрики, що характеризують розвиток та впровадження ІКТ в певній галузі КІІ (3.25), обчислюються згідно (3.26):

$$\mathbf{I}_{ICS} = \frac{\sum_{k=1}^q \mathbf{M}_k}{q}, q \neq 0. \quad (3.26)$$

Слід зауважити, що так як метрики  $\mathbf{M}_k$  можуть мати різні розмірності, на цьому кроці також відбувається їх нормування з використанням одного з відомих підходів.

### **Етап 3. Розрахунок кількісних параметрів, які характеризують рівень КБ галузі КІІ**

На основі (3.22) та (3.26) можемо розрахувати кількісні параметри (3.27), які характеризують рівень КБ певної галузі КІІ, а також рівень КБ цілої держави:

$$\mathbf{I}_{ratio} = \mathbf{I}_{CS} - \mathbf{I}_{ICS} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} P_{ij} \times 100\%}{\sum_{P_{ij}}^{max}} - \frac{\sum_{k=1}^q \mathbf{M}_k}{q}, \sum_{P_{ij}}^{max} \neq 0, q \neq 0. \quad (3.27)$$

Розроблено метод визначення рівня КБ, який дає можливість розрахувати кількісні параметри, які характеризують захищеність певної галузі чи КІІ держави в цілому.

### **3.3. Висновки до третього розділу**

Удосконалено метод визначення рівня важливості, який дозволяє оцінювати критичність об'єктів КІІ авіаційної галузі як за кількісними, так і за якісними параметрами, а також ранжувати їх для адекватного застосування коригувальних заходів. На основі цього методу створено відповідну методику визначення рівня важливості об'єктів КІІ, яка дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів.

Розроблено метод оцінювання рівня КБ, який дає можливість розрахувати кількісні параметри, що характеризують захищеність певної галузі чи КІІ держави в цілому.

### 3.4. Список використаних джерел у третьому розділі

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. V. Sydorenko, T. Zhmurko, Yu. Polishchuk, S. Gnatyuk, «Data model for forming critical infrastructure objects and determining its connectivity», *Inzynier XXI wieku, Monografia, Bielsko-Biala, Poland* : АТН, р. 329-350, 2017.
3. Гнатюк С.О. «Методологія підтримки процесів формування та забезпечення державної системи кібербезпеки в галузі цивільної авіації». URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/30885>.
4. Л. Александровская, И. Аронов, В. Круглов, *Безопасность и надежность технических систем: уч. пос., М. : Университетская книга, Логос, 2008, 376 с.*
5. Анализ видов, последствий критичности отказов: метод. матер. М. : НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2005-2011, 21 с.
6. *Integrated Logistic Support. DEF STAN 00-60. U.K. Ministry of Defence, 26 pp., Jan. 1999.*
7. В. Харченко, Ираддж Эльяси 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.*
8. ГОСТ 27.310-95, Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения, Минск: ИПК Издательство стандартов, 23 с., 1996.
9. ГОСТ Р 51901.12:2007, Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов., М.: Стандартинформ, 36 с., 2008.
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска, М.: Стандартинформ, 74 с., 2012.



11. Т. Елисеєва, «Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО», Известия ТулГУ. Технические науки, вып. 5, с. 182-186, 2013.

12. В. Сидоренко, А. Положенцев, С. Гнатюк, «Метод визначення рівня захищеності критичної інформаційної інфраструктури держави», *Вісник інженерної академії України*, вип. 42, с. 81- 89, 2017.

13. А. Положенцев, В. Сидоренко, «Метод визначення рівня кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури держави», Матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2018. Сучасні проблеми науки», К., 4-6 квітня 2018 р., с. 102-103, 2018.

14. National Cyber Security Index. URL: <http://ncsi.ega.ee/ncsi-index/>.

15. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн, «Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание», М.: ООО «И. Д. Вильямс», 1328 с., 2013.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КБ ОБ'ЄКТІВ КІІ

#### 4.1. Методика експериментального дослідження

Перший крок експериментального дослідження полягає у складанні *плану-програми дослідження*, що містить такі компоненти: гіпотеза, мета та задачі експерименту, вхідні та вихідні параметри, крок зміни вхідних параметрів, послідовність дій в експериментальному дослідженні, засоби для проведення експерименту та аналіз результатів [1]. 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.

#### **Гіпотеза.**

Експеримент базується на припущенні, що запропоновані методи ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ адекватно реагують на зміну ідентифікуючих та оціночних параметрів при різних умовах контрольованого середовища.

#### **Мета та задачі експерименту.**

Мета експерименту – дослідити адекватність запропонованих методів (пп. 2.4, 3.1, 3.2), а саме: дослідити метод ідентифікації об'єктів КІІ в авіаційній галузі; дослідити метод визначення рівня важливості КІІ в авіаційній галузі; дослідити метод визначення рівня КБ авіаційної галузі.

Задачі: дослідження розробленого програмного застосунку для ідентифікації об'єктів КІІ авіаційної галузі; визначення рівня важливості об'єктів КІІ авіаційної галузі (шляхом використання розробленої методики); визначення рівня КБ авіаційної галузі; визначення можливості використання розроблених методів для ідентифікації та оцінювання стану КБ авіаційної галузі.

### Вибір вхідних та вихідних параметрів.

Вхідними параметрами методу ідентифікації об'єктів КП в авіаційній галузі. є: 1) структурно-функціональні схеми аналізованої системи; 2) інформація про елементи інфраструктури та їх функціональні операції аналізованої системи; 3) докладний опис всіх можливих чинників та їх параметрів, які можуть впливати на функціонування системи.

Вхідними параметрами методу визначення рівня важливості КП в авіаційній галузі є: 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; значення коефіцієнтів  $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \mathbf{B}_3$  та вагові коефіцієнти для  $\mathbf{B}'$ .

Вхідними параметрами методу визначення рівня КБ авіаційної галузі є: інформація про КІ, дані про методи і засоби забезпечення КБ, інформація про впроваджені ІКТ.

### Вибір кроку зміни вхідних параметрів.

Для методу ідентифікації об'єктів КП в авіаційній галузі:  $E_j (j = \overline{1, N})$ ,  $L_k^j (k = \overline{1, h})$ ,  $F_{ai} (ai = \overline{1, e})$ ,  $V_{bi} (bi = \overline{1, d})$ ,  $a_m (m = \overline{1, b})$ ,  $Z_{ci} (ci = \overline{1, v})$ ,  $\Phi_{di} (di = \overline{1, s})$ ,  $O_{ei}^{\Phi_{di}} (ei = \overline{1, z})$ ,  $d_{gi}, \varphi_{gi} (gi = \overline{1, f}, f = b \cdot s)$ ,  $A_q (q = \overline{1, x})$ ,  $B_{ii} (ii = \overline{1, g})$ ,  $C_{ji} (ji = \overline{1, w})$ ,  $VEI_{li} (li = \overline{1, o})$ .

Для методу визначення рівня важливості КП в авіаційній галузі:  $S_{ijk} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, k = \overline{1, r_{ij}})$ ;  $C_i (i = \overline{1, b})$ ;  $F_i (i = \overline{1, l})$ ;  $D_i (i = \overline{1, p})$ ;  $E_i (i = \overline{1, q})$ ;  $O_i (i = \overline{1, r})$ ;  $W_i (i = \overline{1, s})$ ;  $R_i (i = \overline{1, w})$ ;  $B_{1j} (j = \overline{1, z})$ ;  $B_{2j} (j = \overline{1, x})$ ;  $B_{3j} (j = \overline{1, c})$ ;  $VK_{ij} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i})$ ;  $K_i (i = \overline{1, g})$ .

Для методу визначення рівня КБ авіаційної галузі:  $\mathbf{P}_i (i = \overline{1, n})$ ,  $P_{ij} (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i})$ ,  $\mathbf{M}_k (k = \overline{1, q})$ ,  $M_{kr} (k = \overline{1, q}, r = \overline{1, p_i})$ .

### **Послідовність дій.**

Дослідження методу ідентифікації об'єктів КП в авіаційній галузі виконується (див. п. 2.4) наступним чином: формування елементів КП та можливих чинників впливу на елемент КП; визначення ступеню пошкодження, ваг впливу та функцій впливу елементів КП; побудова графів відображення елементів КП та їх функціональних процесів; оцінювання якості функціонування системи КП та формування переліку ранжованих за порядком важливості елементів КП.

Дослідження методу визначення рівня важливості КП в авіаційній галузі виконується (див. п. 3.1) наступним чином: визначення компонентів системи за допомогою класів систем, множини систем та множини підсистем, а також встановлення рівня деталізації  $Det_{min}$ ; визначення функцій, переривань роботи, наслідків, ознак виявлення, способів виявлення переривань роботи та побудова тривимірної матриці критичності; розрахунок рангів критичності, за допомогою вагових коефіцієнтів, виділення переліку критичних переривань роботи, та побудова діаграми Парето і причинно-наслідкової діаграми Ісікави, визначення коригувальних заходів, оцінювання їх ефективності та систематизація даних у вигляді звіту.

Дослідження методу визначення рівня КБ авіаційної галузі виконується (див. п. 3.2) наступним чином: формалізація метрик КБ та обчислення індексу, що характеризує рівень КБ галузі КП; формалізація та обчислення метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ; розрахунок кількісних параметрів, які характеризують рівень КБ галузі КП.

### **Засоби проведення експерименту.**

Для експериментального дослідження методу ідентифікації об'єктів КП в авіаційній галузі в середовищі 1С було створено програмний застосунок, який формалізує вхідні дані, обробляє їх та представляє у зручному табличному вигляді даючи змогу ідентифікувати елементи КП та визначити їх вплив на функціональні операції. Для експериментального дослідження методу визначення рівня важливості КП в авіаційній галузі була розроблена методика,

яка дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів. Для візуалізації результатів експериментального дослідження методу визначення рівня КБ авіаційної галузі використовувалось представлення метрик у вигляді зв'язних списків.

### **Аналіз результатів.**

Аналіз результатів представлено у підрозділах 4.2 – 4.5 цієї роботи.

## **4.2. Експериментальне дослідження методу ідентифікації об'єктів КІ авіаційної галузі**

Для експериментального дослідження був розроблений спеціальний програмний застосунок «Метод ідентифікації об'єктів КІ в авіаційній галузі», який дає змогу ідентифікувати об'єкти КІ будь-якої галузі та визначити їх вплив на функціональні операції.

У якості середовища розробки програмного застосунку обрано технологічну платформу 1С: Підприємство 8.3. Технологічна платформа надає об'єкти (даних і метаданих) і механізми управління об'єктами [2]. Об'єкти (дані та метадані) описуються у вигляді конфігурацій. При автоматизації будь-якої діяльності (розробці програмних засобів) складається своя конфігурація об'єктів, яка і являє собою закінчене прикладне рішення. Конфігурація створюється в спеціальному режимі роботи програмного продукту під назвою «Конфігуратор», потім запускається режим роботи під назвою «1С: Підприємство», в якому користувач отримує доступ до основних функцій, реалізованих в даному прикладному рішенні (конфігурації). Сама платформа не є програмним продуктом для використання кінцевими користувачами, а слугує фундаментом для розробки та роботи прикладних рішень.

Основні ключові можливості технологічної платформи 1С: Підприємства 8.3, які вплинули на вибір даного середовища [2]:

1. *Можливість використання трьох клієнтських програм:* Товстий клієнт, Тонкий клієнт, Веб-клієнт.
2. *Багатоплатформеність.* Завдяки появі веб-клієнта, всі компоненти системи можуть працювати на комп'ютерах як під

управлінням Windows, так і під управлінням Linux. 3. *Відмовостійкий масштабований кластер з динамічним розподілом навантаження*. В 1С: Підприємстві 8.3 розвиток кластера серверів виконано відразу по декількох напрямках: масштабованість, відмовостійкість, динамічний розподіл навантаження. Масштабованість. Можна управляти розподілом навантаження, яке раніше виконувалось єдиним менеджером кластера. Відмовостійкість кластера в цілому досягається за рахунок того, що в 1С: Підприємстві 8.3 кілька кластерів можуть бути об'єднані в групу резервування. Кластери, що знаходяться в одній групі резервування синхронізуються автоматично. Відмовостійкість робочих процесів досягається за рахунок їх резервування. Завантаженість робочих процесів аналізується динамічно і при необхідності клієнт автоматично перемикається на більш продуктивний робочий процес. 4. *Новий інтерфейс*. 1С: Підприємство 8.3 повністю змінює весь шар роботи з інтерфейсом, до якого відноситься командний інтерфейс, форми, віконна система. 5. *Нова модель клієнт-серверної взаємодії*. Архітектура керованого додатку орієнтована на максимальний перенос виконання всієї функціональності на сервер і максимальне «полегшення» клієнта.

Усі вище перераховані можливості використання 1С: Підприємства 8.3 свідчать про те, що дана технологічна платформа може слугувати зручним засобом не тільки для автоматизації бухгалтерського та управлінського обліку підприємств, але й може знаходити своє застосування в областях, далеких від власне бухгалтерських завдань, наприклад для проведення наукових досліджень. Саме, тому дану платформу обрано для проведення експериментальних досліджень розроблених рішень.

Виконуваний програмний застосунок може бути використаний на будь-якому ПК, характеристики якого відповідають мінімальним вимогам для роботи із 1С Підприємством (1С Підприємство має бути встановлено на ПК): Процесор Intel Pentium IV/Xeon 2,4 ГГц і більше; Оперативна пам'ять 1024 Мб і більше; Жорсткий диск 40 Гб і більше; ОС – Microsoft Windows.

У роботі [3] було проведено експериментальне дослідження методу ідентифікації об'єктів КІІ в авіаційній галузі на основі системи  $S_{SNS}$  – супутникові навігаційні системи (СНС), рівень деталізації системи  $l = 2$ , та доведено адекватність реагування методу на зміну вхідних даних.

Структура розробленого програмного засобу (прикладного рішення) у режимі роботи «Конфігуратор» наведена на рис. 4.1.

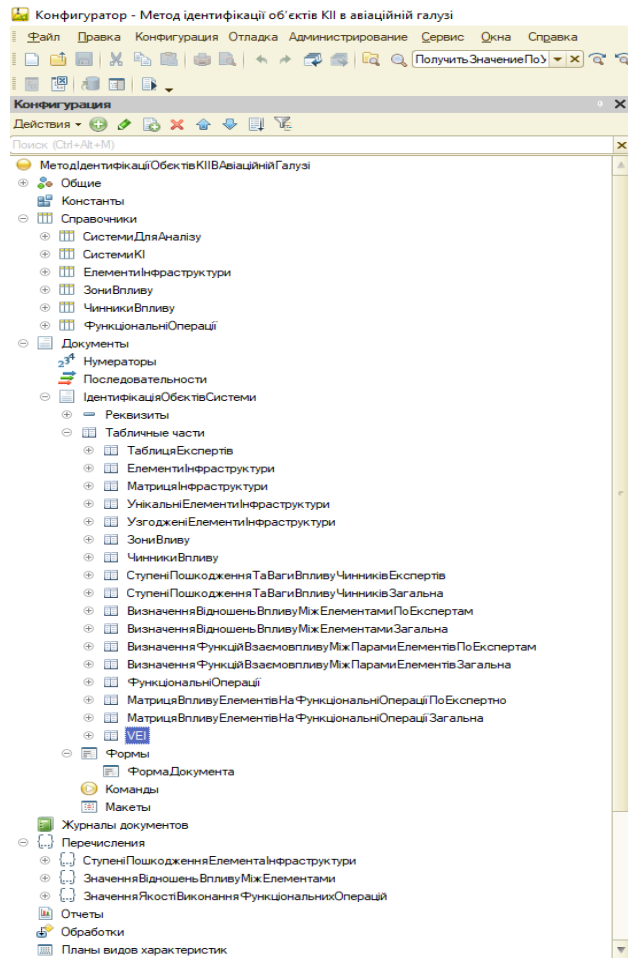


Рис. 4.1. Структура ПЗ «Метод ідентифікації об'єктів КІІ в авіаційній галузі» у режимі роботи «Конфігуратор»

Даний програмний застосунок реалізує такі можливості: введення вхідних параметрів (рис. 4.2); формування множини ідентифікованих елементів КІІ (рис. 4.3); формування можливих чинників впливу на елемент КІІ та опис їх параметрів (рис. 4.5); створення таблиць ступенів пошкодження та вагів впливу чинника на елемент КІІ (рис. 4.6); визначення переліку пар елементів КІІ для яких встановлено відношення впливу та їх обраховані значення функції впливу (рис. 4.7); виділення функціональних

етапів операцій, зв'язків між ними, відповідних вхідних та вихідних даних та побудова графу функціональних процесів (рис. 4.9); визначення матриці впливу елементів КІІ на їх функціональні операції та виділення переліку ранжованих за порядком важливості елементів КІІ (рис. 4.10).

Рис. 4.2. Етап введення вхідних параметрів

### Етап 1. Формування елементів КІІ

Для системи  $S_{\text{SNS}}$  [4], на етапі 1, при  $N = 3$ , була сформована матриця можливих ЕІІ згідно (2.11):

$$L = \begin{pmatrix} L_1^1 & L_2^1 & L_3^1 & L_4^1 & L_5^1 \\ L_1^2 & L_2^2 & L_3^2 & L_4^2 & \omega_0 \\ L_1^3 & L_2^3 & L_3^3 & L_4^3 & L_5^3 \end{pmatrix},$$

де  $L_1^1$  – ШСЗ,  $L_2^1$  – контрольна станція,  $L_3^1$  – додаткова станція,  $L_4^1$  – станція спостереження,  $L_5^1$  – приймачі;  $L_1^2$  – ШСЗ,  $L_2^2$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^2$  – додаткові станції,  $L_4^2$  – приймачі;  $L_1^3$  – ШСЗ,  $L_2^3$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^3$  – додаткові станції,  $L_4^3$  – SPS-приймачі,  $L_5^3$  – PPS-приймачі. Після чого виділена множина унікальних ЕІІ, при  $e = 8$ ,

$\mathbf{F}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{ai=1}^8 F_{ai} \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_8\}$ , де  $F_1$  – ШСЗ,  $F_2$  – контрольна станція,  $F_3$  – додаткова станція,  $F_4$  – станція спостереження,  $F_5$  – приймачі;  $F_6$  – контрольно-спостережна станція,  $F_7$  – SPS-приймачі,  $F_8$  – PPS-приймачі.

Виділено множину співпадінь, при  $N = 3$ ,  $d = 8$ ,  $\mathbf{V}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{bi=1}^8 V_{bi} \right\} = \{V_1, V_2, \dots, V_8\} = \{3, 1, 3, 1, 2, 2, 1, 1\}$ , та узгоджену множину ЕІІ:  $\mathbf{a}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{m=1}^4 a_m \right\} = \{a_1, a_2, \dots, a_4\}$ , де



$a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – приймачі згідно [4-5]. Результати виконання етапу 1 предствлені на рис. 4.3.

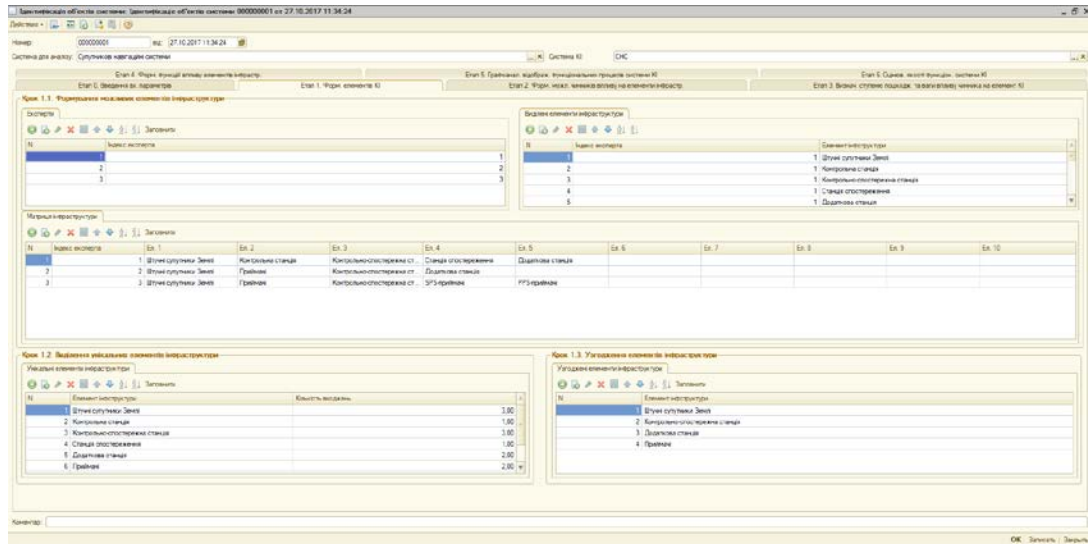


Рис. 4.3. Етап формування елементів КІІ

Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=4$ , згідно (2.12), вершинами графу  $\Gamma \in a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – приймачі, а зв'язками між цими елементами є ребра:  $p_{12}, p_{21}, p_{13}, p_{31}, p_{14}, p_{41}, p_{23}, p_{32}, p_{24}, p_{42}, p_{34}, p_{43}$  (див. рис. 4.4).

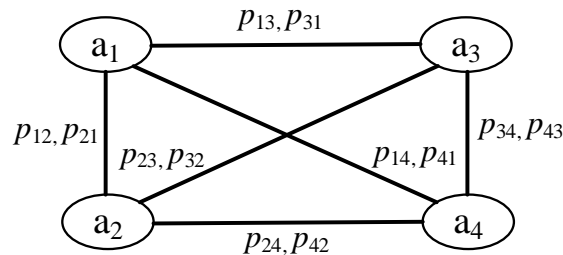


Рис.4.4. Графоаналітичне відображення елементів КІІ при  $b=4$  для  $S_{SNS}$

## Етап 2. Формування можливих чинників впливу на елемент КІІ

Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=4$  та  $\nu=2$ , згідно [4], множина зон впливу

має такий вигляд:  $\mathbf{Z}_{SNS} = \{\bigcup_{ci=1}^2 Z_i\} = \{Z_1, Z_2\}$ , де  $Z_1$  – космічна або орбітальна

зона,  $Z_2$  – наземна зона управління та контролю. Для  $S_{SNS}$ , при  $b=4$  та  $s=7$ , згідно [6-7] множину чинників впливу можна представити у такому вигляді

$\Phi_{SNS} = \{\bigcup_{di=1}^7 \Phi_{di}\} = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_7\}$ , де  $\Phi_1$  – геометричний чинник (GDOP), який

свідчить про стан впливу похибок псевдо дальності (останнє характеризує міру віддаленості споживача від GPS - супутника) показань годин на точність обчислення координат;  $\Phi_2$  – горизонтальний чинник (HDOP), який показує ступінь впливу точності визначення горизонталі на похибку обчислення координат;  $\Phi_3$  – відносний чинник (RDOP), безрозмірний показник, який описує вплив на точність визначення координат похибки псевдо дальності;  $\Phi_4$  – часовий чинник (TDOP), дорівнює чиннику зниження точності, нормалізованому на період 60 с;  $\Phi_5$  – вертикальний чинник (VDOP), описує ступінь впливу похибки показників годин на точність координат;  $\Phi_6$  – чинник положення (PDOP), який показує ступінь впливу похибки у вертикальній площині на точність визначення координат;  $\Phi_7$  – чинник комунікації (CDOP), що показує значення записів мережевих з'єднань згідно бази даних NLS-KDD [8]. Також для чинника  $\Phi_7$ , при  $z = 5$ , представимо множину параметрів чинника впливу:

$$\mathbf{O}^{\Phi_7} = \left\{ \bigcup_{ei=1}^5 O_{ei}^{\Phi_7} \right\} = \{O_1^{\Phi_7}, O_2^{\Phi_7}, \dots, O_5^{\Phi_7}\},$$
 де  $O_1^{\Phi_7}$  – базові параметри;  $O_2^{\Phi_7}$  – параметри контенту;  $O_3^{\Phi_7}$  – часові параметри;  $O_4^{\Phi_7}$  – апаратні параметри;  $O_5^{\Phi_7}$  – параметр присутності/відсутності атаки. Після чого сформуємо для чинника  $\Phi_7$  можливі набори параметрів:  $\Phi_7(Z_1, O_1^{\Phi_7}, O_2^{\Phi_7}, O_3^{\Phi_7}, O_4^{\Phi_7}, O_5^{\Phi_7})$ ;  $\Phi_7(Z_2, O_1^{\Phi_7}, O_2^{\Phi_7}, O_3^{\Phi_7}, O_4^{\Phi_7}, O_5^{\Phi_7})$ .

Результати виконання етапу 2 предствлені на рис. 4.5.

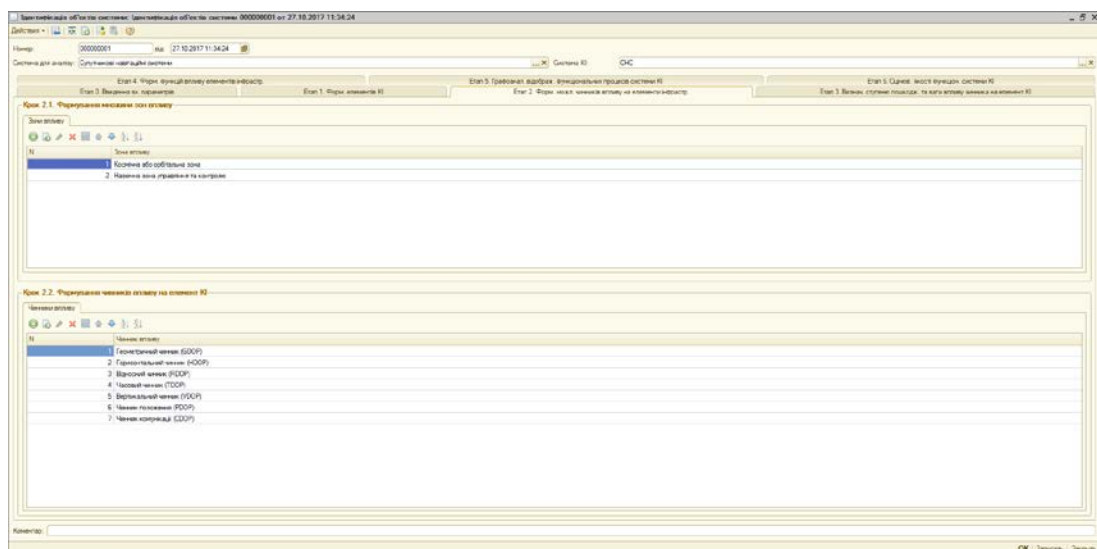


Рис. 4.5. Етап формування можливих зон та чинників впливу на елемент КІІ

### Етап 3. Визначення ступеню пошкодження та ваги впливу чинника на елемент КІІ

Для системи  $S_{SNS}$  при  $b = 4$  та  $s = 7$ , згідно [4] та [7] відповідно, узгоджені експертами згідно (2.13) значення величин ступеню пошкодження та ваги впливу зазначені в табл. 4.1 (значення порогових величин  $t_0 = 1$  та  $t_1 = 1,5$ ).

Таблиця 4.1

Значення ступеню пошкодження і ваги впливу на елементи КІІ, при  $b = 4$

	$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi_3$		$\Phi_4$		$\Phi_5$		$\Phi_6$		$\Phi_7$	
	$d_1$	$\varphi_1$	$d_2$	$\varphi_2$	$d_3$	$\varphi_3$	$d_4$	$d_1$	$\varphi_1$	$d_2$	$\varphi_2$	$d_3$	$\varphi_3$	$d_4$
$a_1$	1	0,2	1	0,1	0	0,1	1	0,1	1	0,2	0	0	2	0,3
$a_2$	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0	1	0	1	0,2
$a_3$	1	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	1	0,1	1	0,4
$a_4$	1	0,2	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	1	0,3

Результати виконання етапу 3 предствлені на рис. 4.6.

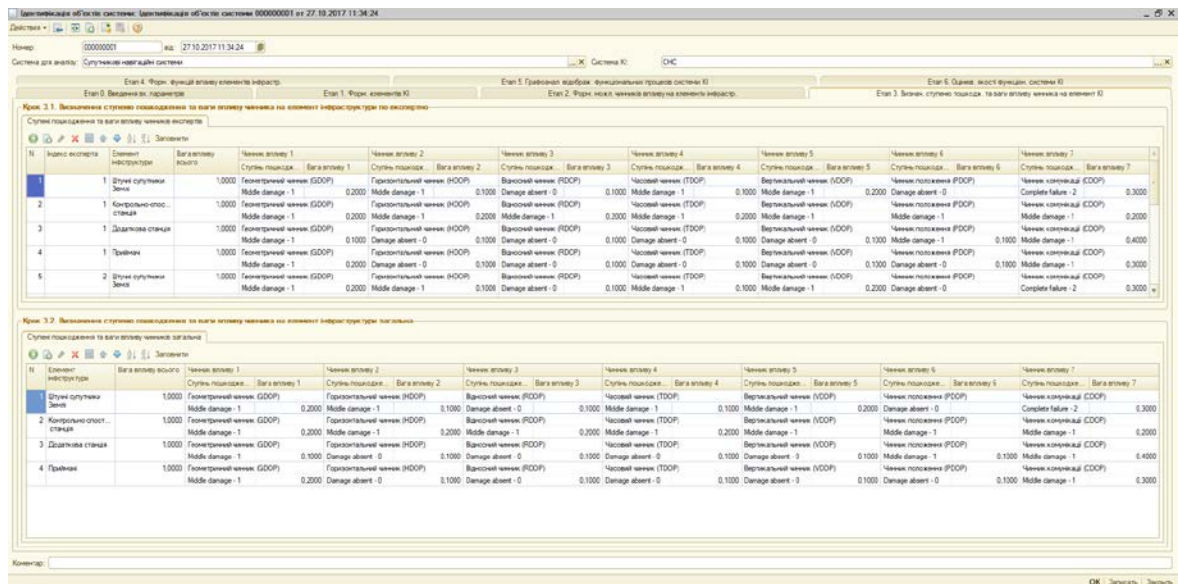


Рис. 4.6. Етап визначення ступеню пошкодження та ваги впливу чинника на елемент КІІ

### Етап 4. Формування функцій впливу елементів КІІ

Для зазначеної системи  $S_{SNS}$ , при  $b = 4$ , згідно [4], формуються можливі пари ЕІІ та оцінюється вплив між цими елементами. Оброблені значення відображені в табл. 4.2 (значення величини  $\beta = 0,5$ ). Сформовані пари, для яких встановлено відношення впливу позначені в табл. 4.2 сірим кольором.

Таблиця 4.2

Відношення впливу між елементами КП, при  $b = 4$ 

Пара ( $a_m, a_{m'}$ )	Результат			Кількість «+» ( $K_{mm'}$ )	Узгоджена оцінка ( $r_w$ )
	1	2	3		
( $a_1, a_2$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_3$ )	-	-	+	1	-
( $a_1, a_4$ )	+	-	+	2	+
( $a_2, a_1$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_3$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_4$ )	+	-	+	2	+
( $a_3, a_1$ )	-	-	-	0	-
( $a_3, a_2$ )	-	-	-	0	-
( $a_3, a_4$ )	+	+	+	3	+
( $a_4, a_1$ )	-	+	-	1	-
( $a_4, a_2$ )	+	-	-	1	-
( $a_4, a_3$ )	+	-	-	1	-

Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b = 4$  та сформованих пар, для яких встановлено відношення впливу (табл. 4.2), визначимо значення функції впливу згідно (2.14) та відобразимо їх в табл. 4.3 ( $\tau = 1$ ).

Таблиця 4.3

Оцінювання функцій впливу, при  $b = 4$ 

Пара ( $a_m, a_{m'}$ )	Результат			Узгоджена оцінка ( $h_{mm'}^y(d)$ )
	1	2	3	
( $a_1, a_2$ )	$h_{12}^1(1) = 2,$ $h_{12}^1(2) = 2$	$h_{12}^2(1) = 1,$ $h_{12}^2(2) = 2$	$h_{12}^3(1) = 2,$ $h_{12}^3(2) = 2$	$h_{12}^y(1) = 2,$ $h_{12}^y(2) = 2$
( $a_1, a_4$ )	$h_{13}^1(1) = 1,$ $h_{13}^1(2) = 1$	$h_{13}^2(1) = 1,$ $h_{13}^2(2) = 2$	$h_{13}^3(1) = 1,$ $h_{13}^3(2) = 2$	$h_{13}^y(1) = 1,$ $h_{13}^y(2) = 2$
( $a_2, a_1$ )	$h_{21}^1(1) = 0,$ $h_{21}^1(2) = 2$	$h_{21}^2(1) = 1,$ $h_{21}^2(2) = 1$	$h_{21}^3(1) = 0,$ $h_{21}^3(2) = 2$	$h_{21}^y(1) = 1,$ $h_{21}^y(2) = 2$
( $a_2, a_3$ )	$h_{23}^1(1) = 1,$ $h_{23}^1(2) = 1$	$h_{23}^2(1) = 1,$ $h_{23}^2(2) = 1$	$h_{23}^3(1) = 1,$ $h_{23}^3(2) = 1$	$h_{23}^y(1) = 1,$ $h_{23}^y(2) = 1$
( $a_2, a_4$ )	$h_{24}^1(1) = 1,$ $h_{24}^1(2) = 2$	$h_{24}^2(1) = 1,$ $h_{24}^2(2) = 2$	$h_{24}^3(1) = 1,$ $h_{24}^3(2) = 2$	$h_{24}^y(1) = 1,$ $h_{24}^y(2) = 2$
( $a_3, a_4$ )	$h_{34}^1(1) = 1,$ $h_{34}^1(2) = 1$	$h_{34}^2(1) = 1,$ $h_{34}^2(2) = 1$	$h_{34}^3(1) = 1,$ $h_{34}^3(2) = 2$	$h_{34}^y(1) = 1,$ $h_{34}^y(2) = 1$

## Результати виконання етапу 4 предствлені на рис. 4.7.

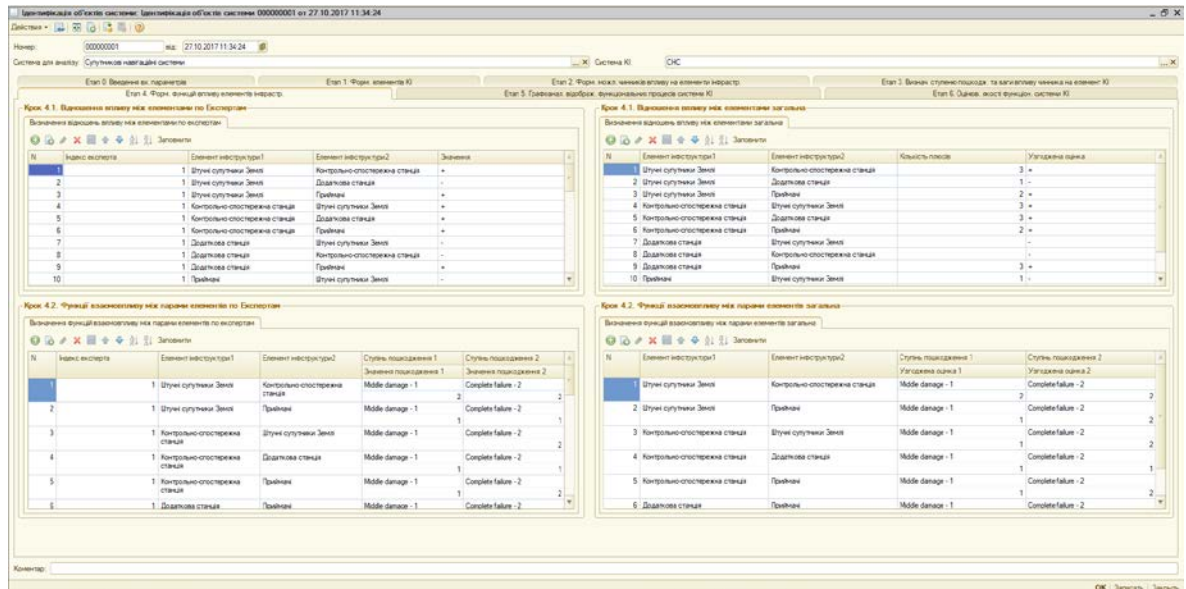


Рис. 4.7. Етап формування функцій впливу елементів КІІ

## Етап 5. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи КІІ

Для досліджуваної системи, згідно [5], при  $x=4$ ,  $g=2$ ,  $w=2$ , відобразимо схему функціонального процесу за допомогою графу (2.15), в якому вершини  $A_q$  відповідають функціональним операціям ( $A_1$  – супутниковий сегмент,  $A_2$  – сегмент контролю та спостереження,  $A_3$  – додатковий сегмент,  $A_4$  – сегмент користувача), вершини  $B_1, B_2, C_1, C_2$  – відповідають вхідним та вихідним даним операцій  $A_q$ , а ребра  $P_{12}, P_{14}, P_{21}, P_{23}, P_{24}, P_{34}$  – зв'язкам між елементами  $A_q, A_{q'}$  (встановленими на кроці 4.1), (рис. 4.8).

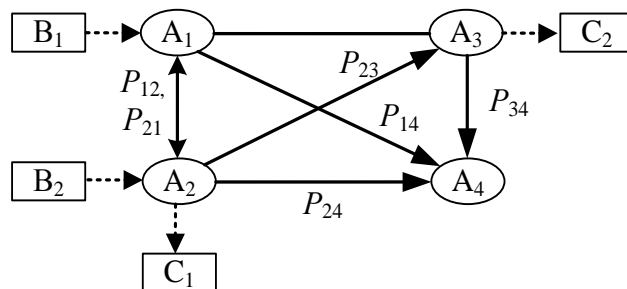


Рис.4.8. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи  $S_{SNS}$

Результати виконання етапу 5 предствлені на рис. 4.9.

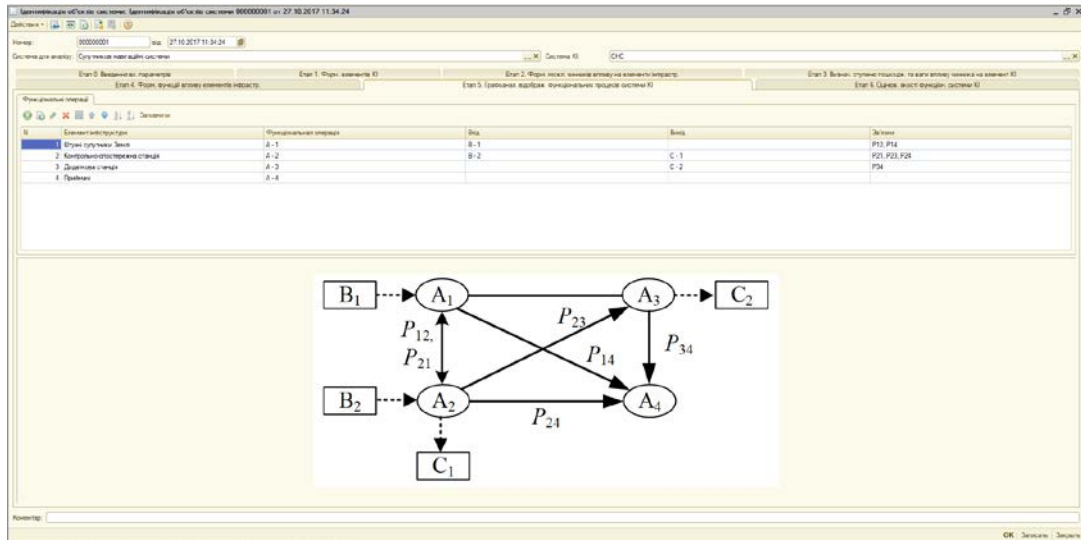


Рис. 4.9. Етап відображення функціональних процесів системи КІІ

**Етап 6. Оцінювання якості функціонування системи КІІ**

Для системи  $S_{SNS}$  згідно (2.16), побудуємо узгоджену матрицю впливу всіх ЕІ на всі функціональні операції системи (табл. 4.4) ( $q_0 = 0,5, q_1 = 1,5$ ).

Таблиця 4.4

Матриця впливу елементів КІІ на функціональні операції

Операція ( $A_q$ )	Шкала ступенів пошкодження елементів $a_m$		
	$d(a_1) = 0$	$d(a_1) = 1$	$d(a_1) = 2$
$A_1$	0	2	2
$A_2$	0	1	2
$A_3$	0	1	2
$A_4$	0	1	1
	$d(a_2) = 0$	$d(a_2) = 1$	$d(a_2) = 2$
$A_1$	0	1	2
$A_2$	0	2	2
$A_3$	0	1	2
$A_4$	0	1	1
	$d(a_3) = 0$	$d(a_3) = 1$	$d(a_3) = 2$
$A_1$	0	0	1
$A_2$	0	0	1
$A_3$	0	1	2
$A_4$	0	1	2

	$d(a_4) = 0$	$d(a_4) = 1$	$d(a_4) = 2$
$A_1$	0	0	1
$A_2$	0	1	1
$A_3$	0	0	1
$A_4$	0	1	2

Для системи  $S_{SNS}$ , згідно табл. 4.4, при  $b = o = 4$ , множина ранжованих за порядком важливості для системи ЕП має вигляд:  $\mathbf{VEI}_{SNS} = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ , де  $a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – приймачі. Результати виконання етапу 6 предствлені на рис. 4.10.

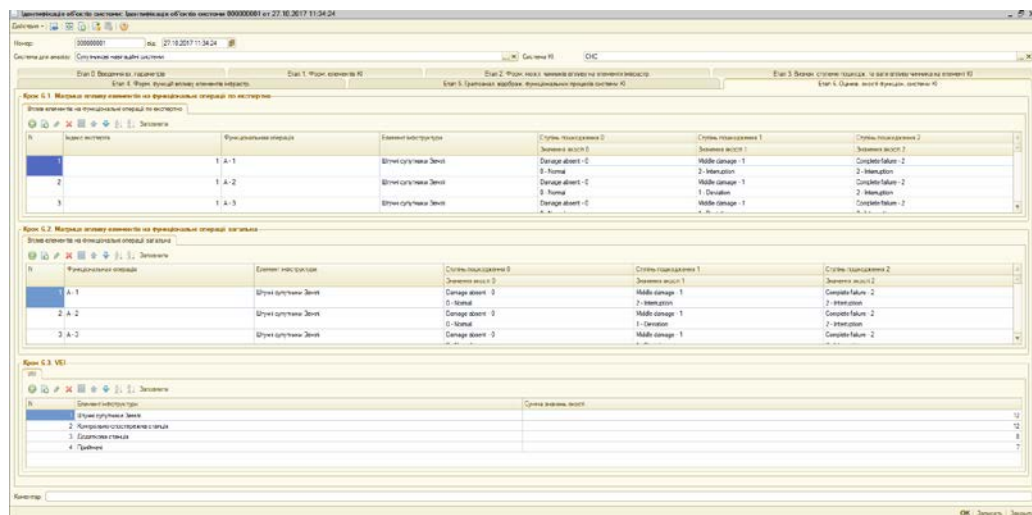


Рис. 4.10. Етап оцінювання якості функціонування системи та виділення переліку ранжованих за порядком важливості елементів КІІ

Для оцінювання адекватності запропонованого методу перевірялось його реагування на зміну вхідних даних. Для досліджуваної системи  $S_{SNS}$  змінювалась кількість ЕП та елементів КІІ, що відповідно свідчило про зміну вихідних даних. Далі представлена верифікація розробленого методу.

### Етап 1. Формування елементів КІІ

Верифікація 1. Для системи  $S_{SNS}$  – ШСЗ згідно [4], при  $N = 3$ , сформуємо матрицю можливих ЕП згідно (2.11):

$$L = \begin{pmatrix} L_1^1 & L_2^1 & L_3^1 & L_4^1 \\ L_1^2 & L_2^2 & L_3^2 & \omega_0 \\ L_1^3 & L_2^3 & L_3^3 & L_4^3 \end{pmatrix},$$

де  $L_1^1$  – штучні супутники Землі (ШСЗ),  $L_2^1$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^1$  – додаткова станція,  $L_4^1$  – приймачі;  $L_1^2$  – ШСЗ,  $L_2^2$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^2$  – приймачі;  $L_1^3$  – ШСЗ,  $L_2^3$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^3$  – спостережна станція,  $L_4^3$  – приймачі.

Множина унікальних ЕП при  $e = 5$ , згідно [4-5], дорівнює:

$\mathbf{F}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{ai=1}^5 F_{ai} \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_5\}$ , де  $F_1$  – ШСЗ,  $F_2$  – контрольно-спостережна станція,  $F_3$  – додаткова станція,  $F_4$  – приймачі,  $F_5$  – спостережна станція.

Множина співпадінь елементів  $F_{ai}$  у матриці  $L$ , при  $N = 3$ ,  $d = 5$ ,

згідно [4-5], дорівнює:  $\mathbf{V}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{bi=1}^5 V_{bi} \right\} = \{V_1, V_2, \dots, V_5\} = \{3, 3, 1, 3, 1\}$ , а узгоджена

множина ЕП, при  $b = 3$ , має вигляд:  $\mathbf{a}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{m=1}^3 a_m \right\} = \{a_1, a_2, a_3\}$ , де  $a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – приймачі.

Для системи  $S_{\text{SNS}}$ , при  $b = 3$ , згідно (2.12), вершинами графу  $\Gamma \in a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – приймачі, а зв'язками між цими елементами є ребра:  $p_{12}, p_{21}, p_{13}, p_{31}, p_{23}, p_{32}$  (див. рис. 4.11).

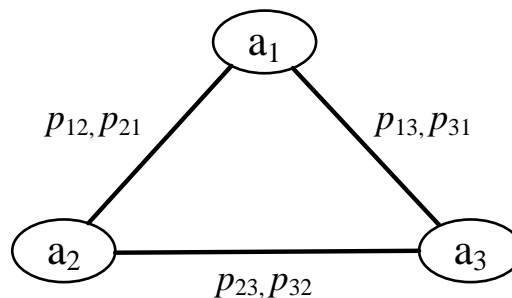


Рис.4.11. Графоаналітичне відображення елементів КІІ при  $b = 3$  для  $S_{\text{SNS}}$

Верифікація 2. Для системи  $S_{\text{SNS}}$  [4], при  $N = 3$ , сформуємо матрицю можливих ЕП згідно (2.11):

$$L = \begin{pmatrix} L_1^1 & L_2^1 & L_3^1 & L_4^1 & L_5^1 & L_6^1 \\ L_1^2 & L_2^2 & L_3^2 & L_4^2 & \omega_0 & \omega_0 \\ L_1^3 & L_2^3 & L_3^3 & L_4^3 & L_5^3 & \omega_0 \end{pmatrix},$$



де  $L_1^1$  – ШСЗ,  $L_2^1$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^1$  – додаткова станція,  $L_4^1$  – станція спостереження,  $L_5^1$  – SPS-приймачі;  $L_6^1$  – PPS-приймачі;  $L_1^2$  – ШСЗ,  $L_2^2$  – контрольна станція,  $L_3^2$  – станція спостереження,  $L_4^2$  – додаткова станція;  $L_1^3$  – ШСЗ,  $L_2^3$  – контрольно-спостережна станція,  $L_3^3$  – додаткова станція,  $L_4^3$  – SPS-приймачі,  $L_5^3$  – PPS-приймачі.

Множина унікальних ЕП при  $e=7$ , згідно [4-5], дорівнює:

$\mathbf{F}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{ai=1}^7 F_{ai} \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_7\}$ , де  $F_1$  – ШСЗ,  $F_2$  – контрольно-спостережна станція,  $F_3$  – додаткова станція,  $F_4$  – станція спостереження,  $F_5$  – SPS-приймачі;  $F_6$  – PPS-приймачі,  $F_7$  – контрольна станція.

Множина співпадінь елементів  $F_{ai}$  у матриці  $L$ , при  $N=3$ ,  $d=7$ ,

згідно [4-5], дорівнює:  $\mathbf{V}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{bi=1}^7 V_{bi} \right\} = \{V_1, V_2, \dots, V_7\} = \{3, 2, 3, 2, 2, 2, 1\}$ , а

узгоджена множина ЕП, при  $b=6$ , має вигляд:  $\mathbf{a}_{\text{SNS}} = \left\{ \bigcup_{m=1}^6 a_m \right\} = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$ , де

$a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – спостережна станція,  $a_5$  – SPS-приймачі,  $a_6$  – PPS-приймачі.

Для системи  $S_{\text{SNS}}$ , при  $b=6$ , згідно (2.12), вершинами графу  $\Gamma \in a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – спостережна станція,  $a_5$  – SPS-приймачі,  $a_6$  – PPS-приймачі, а зв'язками між цими елементами є ребра:  $p_{12}, p_{21}, p_{13}, p_{31}, p_{14}, p_{41}, p_{15}, p_{51}, p_{16}, p_{61}, p_{23}, p_{32}, p_{24}, p_{42}, p_{25}, p_{52}, p_{26}, p_{62}, p_{34}, p_{43}, p_{35}, p_{53}, p_{36}, p_{63}, p_{45}, p_{54}, p_{46}, p_{64}, p_{56}, p_{65}$  (див. рис. 4.12).

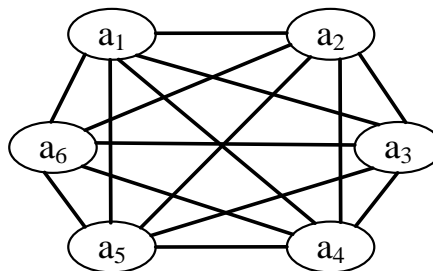


Рис.4.12. Графоаналітичне відображення елементів КІІ при  $b=6$  для  $S_{\text{SNS}}$

## Етап 2. Формування можливих чинників впливу на елемент КІІ

Верифікація 1-2. Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=3$  та  $b=6$  повністю співпадає з описаним у програмному за стосунку (див. етап 2, рис. 4.5).

## Етап 3. Визначення ступеню пошкодження та ваги впливу чинника на елемент КІІ

Верифікація 1. Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=4$  та  $s=7$ , згідно [4] та [7] відповідно, узгоджені експертами згідно (2.13) значення величин ступеню пошкодження та ваги впливу зазначені в табл. 4.5 ( $t_0=1$  та  $t_1=1,5$ ).

Таблиця 4.5

Значення ступеню пошкодження і ваги впливу на елементи КІІ, при  $b=3$

	$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi_3$		$\Phi_4$		$\Phi_5$		$\Phi_6$		$\Phi_7$	
	$d_1$	$\varphi_1$	$d_2$	$\varphi_2$	$d_3$	$\varphi_3$	$d_4$	$\varphi_4$	$d_5$	$\varphi_5$	$d_6$	$\varphi_6$	$d_7$	$\varphi_7$
$a_1$	1	0,2	1	0,1	0	0,1	1	0,1	1	0,2	0	0	2	0,3
$a_2$	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0	1	0	1	0,2
$a_3$	1	0,2	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	1	0,3

Верифікація 2. Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=6$  та  $s=7$ , згідно [4] та [7] відповідно, узгоджені експертами згідно (2.13) значення величин ступеню пошкодження та ваги впливу зазначені в табл. 4.6 ( $t_0=1$  та  $t_1=1,5$ ).

Таблиця 4.6

Значення ступеню пошкодження і ваги впливу на елементи КІІ, при  $b=6$

	$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi_3$		$\Phi_4$		$\Phi_5$		$\Phi_6$		$\Phi_7$	
	$d_1$	$\varphi_1$	$d_2$	$\varphi_2$	$d_3$	$\varphi_3$	$d_4$	$d_1$	$\varphi_1$	$d_2$	$\varphi_2$	$d_3$	$\varphi_3$	$d_4$
$a_1$	1	0,2	1	0,1	0	0,1	1	0,1	1	0,2	0	0	2	0,3
$a_2$	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0	1	0	1	0,2
$a_3$	1	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	1	0,1	1	0,4
$a_4$	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0	1	0	1	0,2
$a_5$	1	0,1	0	0,1	1	0,1	0	0,1	0	0,2	0	0,1	1	0,3
$a_6$	1	0,2	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,2	1	0,2

#### Етап 4. Формування функцій впливу елементів КІІ

Верифікація 1. Для зазначеної системи  $S_{SNS}$ , при  $b=3$ , згідно [4], формуються можливі пари ЕІІ та оцінюється вплив між цими елементами. Оброблені значення відображені в табл. 4.7 ( $\beta = 0,5$ ). Сформовані пари, для яких встановлено відношення впливу позначені в табл. 4.7 сірим кольором.

Таблиця 4.7

Відношення впливу між елементами КІІ, при  $b = 3$

Пара ( $a_m, a_{m'}$ )	Результат			Кількість «+» ( $K_{mm'}$ )	Узгоджена оцінка ( $r_w$ )
	1	2	3		
( $a_1, a_2$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_3$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_1$ )	+	-	+	2	+
( $a_2, a_3$ )	+	+	+	3	+
( $a_3, a_1$ )	-	-	-	0	-
( $a_3, a_2$ )	-	-	+	1	-

Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b=3$  та сформованих пар, для яких встановлено відношення впливу (табл. 4.7), визначимо значення функції впливу згідно (2.14) та відобразимо їх в табл. 4.8 ( $\tau = 1$ ).

Таблиця 4.8

Оцінювання функцій впливу, при  $b = 3$

Пара ( $a_m, a_{m'}$ )	Результат			Узгоджена оцінка ( $h_{mm'}^y(d)$ )
	1	2	3	
( $a_1, a_2$ )	$h_{12}^1(1) = 2,$ $h_{12}^1(2) = 2$	$h_{12}^2(1) = 1,$ $h_{12}^2(2) = 2$	$h_{12}^3(1) = 2,$ $h_{12}^3(2) = 2$	$h_{12}^y(1) = 2,$ $h_{12}^y(2) = 2$
( $a_1, a_3$ )	$h_{13}^1(1) = 1,$ $h_{13}^1(2) = 1$	$h_{13}^2(1) = 1,$ $h_{13}^2(2) = 2$	$h_{13}^3(1) = 1,$ $h_{13}^3(2) = 2$	$h_{13}^y(1) = 1,$ $h_{13}^y(2) = 2$
( $a_2, a_1$ )	$h_{21}^1(1) = 0,$ $h_{21}^1(2) = 2$	$h_{21}^2(1) = 1,$ $h_{21}^2(2) = 1$	$h_{21}^3(1) = 0,$ $h_{21}^3(2) = 2$	$h_{21}^y(1) = 1,$ $h_{21}^y(2) = 2$
( $a_2, a_3$ )	$h_{23}^1(1) = 1,$ $h_{23}^1(2) = 2$	$h_{23}^2(1) = 1,$ $h_{23}^2(2) = 1$	$h_{23}^3(1) = 1,$ $h_{23}^3(2) = 2$	$h_{23}^y(1) = 1,$ $h_{23}^y(2) = 2$

Верифікація 2. Для зазначеної системи  $S_{SNS}$ , при  $b = 6$ , згідно [4], формуються можливі пари ЕІІ та оцінюється вплив між цими елементами.

Оброблені значення відображені в табл. 4.9 ( $\beta = 0,5$ ). Сформовані пари, для яких встановлено відношення впливу позначені в табл. 4.9 сірим кольором.

Таблиця 4.9

Відношення впливу між елементами КП, при  $b = 6$

Пара ( $a_m, a_{m'}$ )	Результат			Кількість «+» ( $K_{mm'}$ )	Узгоджена оцінка ( $r_w$ )
	1	2	3		
( $a_1, a_2$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_3$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_4$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_5$ )	+	+	+	3	+
( $a_1, a_6$ )	+	-	+	2	+
( $a_2, a_1$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_3$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_4$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_5$ )	+	+	+	3	+
( $a_2, a_6$ )	+	+	-	2	+
( $a_3, a_1$ )	-	-	+	1	-
( $a_3, a_2$ )	+	+	+	3	+
( $a_3, a_4$ )	+	+	+	3	+
( $a_3, a_5$ )	-	-	-	0	-
( $a_3, a_6$ )	-	-	-	0	-
( $a_4, a_1$ )	+	+	+	3	+
( $a_4, a_2$ )	+	+	+	3	+
( $a_4, a_3$ )	-	-	-	0	-
( $a_4, a_5$ )	+	+	+	3	+
( $a_4, a_6$ )	-	+	+	2	+
( $a_5, a_1$ )	+	-	+	2	+
( $a_5, a_2$ )	-	-	+	1	-
( $a_5, a_3$ )	-	-	-	0	-
( $a_5, a_4$ )	-	-	-	0	-
( $a_5, a_6$ )	-	-	-	0	-
( $a_6, a_1$ )	+	+	-	3	+

$(a_6, a_2)$	-	+	-	<b>1</b>	-
$(a_6, a_3)$	-	-	-	<b>0</b>	-
$(a_6, a_4)$	-	-	-	<b>0</b>	-
$(a_6, a_5)$	-	-	-	<b>0</b>	-

Для системи  $S_{SNS}$ , при  $b = 6$  та сформованих пар, для яких встановлено відношення впливу (табл. 4.9), визначимо значення функції впливу згідно (2.14) та відобразимо їх в табл. 4.10 ( $\tau = 1$ ).

Таблиця 4.10

Оцінювання функцій впливу, при  $b = 6$ 

Пара $(a_m, a_{m'})$	Результат			Узгоджена оцінка $(h_{mm'}^y(d))$
	1	2	3	
$(a_1, a_2)$	$h_{12}^1(1) = 2,$ $h_{12}^1(2) = 2$	$h_{12}^2(1) = 1,$ $h_{12}^2(2) = 2$	$h_{12}^3(1) = 2,$ $h_{12}^3(2) = 2$	$h_{12}^y(1) = 2,$ $h_{12}^y(2) = 2$
$(a_1, a_3)$	$h_{13}^1(1) = 2,$ $h_{13}^1(2) = 2$	$h_{13}^2(1) = 2,$ $h_{13}^2(2) = 2$	$h_{13}^3(1) = 2,$ $h_{13}^3(2) = 2$	$h_{13}^y(1) = 2,$ $h_{13}^y(2) = 2$
$(a_1, a_4)$	$h_{14}^1(1) = 1,$ $h_{14}^1(2) = 2$	$h_{14}^2(1) = 1,$ $h_{14}^2(2) = 2$	$h_{14}^3(1) = 1,$ $h_{14}^3(2) = 2$	$h_{14}^y(1) = 1,$ $h_{14}^y(2) = 2$
$(a_1, a_5)$	$h_{15}^1(1) = 2,$ $h_{15}^1(2) = 2$	$h_{15}^2(1) = 2,$ $h_{15}^2(2) = 2$	$h_{15}^3(1) = 2,$ $h_{15}^3(2) = 2$	$h_{15}^y(1) = 2,$ $h_{15}^y(2) = 2$
$(a_1, a_6)$	$h_{16}^1(1) = 2,$ $h_{16}^1(2) = 2$	$h_{16}^2(1) = 2,$ $h_{16}^2(2) = 2$	$h_{16}^3(1) = 2,$ $h_{16}^3(2) = 2$	$h_{16}^y(1) = 2,$ $h_{16}^y(2) = 2$
$(a_2, a_1)$	$h_{21}^1(1) = 0,$ $h_{21}^1(2) = 2$	$h_{21}^2(1) = 1,$ $h_{21}^2(2) = 1$	$h_{21}^3(1) = 0,$ $h_{21}^3(2) = 2$	$h_{21}^y(1) = 1,$ $h_{21}^y(2) = 2$
$(a_2, a_3)$	$h_{23}^1(1) = 1,$ $h_{23}^1(2) = 1$	$h_{23}^2(1) = 1,$ $h_{23}^2(2) = 1$	$h_{23}^3(1) = 1,$ $h_{23}^3(2) = 1$	$h_{23}^y(1) = 1,$ $h_{23}^y(2) = 1$
$(a_2, a_4)$	$h_{24}^1(1) = 1,$ $h_{24}^1(2) = 2$	$h_{24}^2(1) = 1,$ $h_{24}^2(2) = 2$	$h_{24}^3(1) = 1,$ $h_{24}^3(2) = 2$	$h_{24}^y(1) = 1,$ $h_{24}^y(2) = 2$
$(a_2, a_5)$	$h_{25}^1(1) = 1,$ $h_{25}^1(2) = 1$	$h_{25}^2(1) = 1,$ $h_{25}^2(2) = 1$	$h_{25}^3(1) = 1,$ $h_{25}^3(2) = 1$	$h_{25}^y(1) = 1,$ $h_{25}^y(2) = 1$
$(a_2, a_6)$	$h_{26}^1(1) = 1,$ $h_{26}^1(2) = 1$	$h_{26}^2(1) = 1,$ $h_{26}^2(2) = 1$	$h_{26}^3(1) = 1,$ $h_{26}^3(2) = 1$	$h_{26}^y(1) = 1,$ $h_{26}^y(2) = 1$
$(a_3, a_2)$	$h_{32}^1(1) = 1,$ $h_{32}^1(2) = 1$	$h_{32}^2(1) = 1,$ $h_{32}^2(2) = 1$	$h_{32}^3(1) = 1,$ $h_{32}^3(2) = 2$	$h_{32}^y(1) = 1,$ $h_{32}^y(2) = 1$

$(a_3, a_4)$	$h_{34}^1(1) = 1,$ $h_{34}^1(2) = 1$	$h_{34}^2(1) = 1,$ $h_{34}^2(2) = 1$	$h_{34}^3(1) = 1,$ $h_{34}^3(2) = 2$	$h_{34}^y(1) = 1,$ $h_{34}^y(2) = 1$
$(a_4, a_1)$	$h_{41}^1(1) = 1,$ $h_{41}^1(2) = 2$	$h_{41}^2(1) = 1,$ $h_{41}^2(2) = 1$	$h_{41}^3(1) = 1,$ $h_{41}^3(2) = 2$	$h_{41}^y(1) = 1,$ $h_{41}^y(2) = 2$
$(a_4, a_2)$	$h_{42}^1(1) = 1,$ $h_{42}^1(2) = 2$	$h_{42}^2(1) = 1,$ $h_{42}^2(2) = 2$	$h_{42}^3(1) = 1,$ $h_{42}^3(2) = 2$	$h_{42}^y(1) = 1,$ $h_{42}^y(2) = 2$
$(a_4, a_5)$	$h_{45}^1(1) = 1,$ $h_{45}^1(2) = 1$	$h_{45}^2(1) = 1,$ $h_{45}^2(2) = 1$	$h_{45}^3(1) = 1,$ $h_{45}^3(2) = 1$	$h_{45}^y(1) = 1,$ $h_{45}^y(2) = 1$
$(a_4, a_6)$	$h_{46}^1(1) = 1,$ $h_{46}^1(2) = 1$	$h_{46}^2(1) = 1,$ $h_{46}^2(2) = 1$	$h_{46}^3(1) = 1,$ $h_{46}^3(2) = 1$	$h_{46}^y(1) = 1,$ $h_{46}^y(2) = 1$

### Етап 5. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи КП

Верифікація 1. Для досліджуваної системи, згідно [5], при  $x = 3$ ,  $g = 2$ ,  $w = 2$ , відобразимо схему функціонального процесу за допомогою графу (2.15), в якому вершини  $A_q$  відповідають функціональним операціям ( $A_1$  – супутниковий сегмент,  $A_2$  – сегмент контролю та спостереження,  $A_3$  – сегмент приймачів), вершини  $B_1, B_2, C_1, C_2$  – відповідають вхідним та вихідним даним операцій  $A_q$ , а ребра  $P_{12}, P_{13}, P_{21}, P_{23}$  – зв'язкам між елементами  $A_q, A_{q'}$  (встановленими на кроці 4.1), (рис. 4.13).

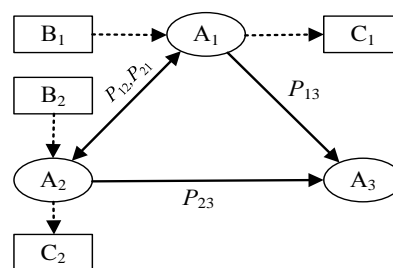


Рис.4.13. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи  $S_{SNS}$

Верифікація 2. Для досліджуваної системи, згідно [5], при  $x = 6$ ,  $g = 4$ ,  $w = 4$ , відобразимо схему функціонального процесу за допомогою графу (2.15), в якому вершини  $A_q$  відповідають функціональним операціям ( $A_1$  – супутниковий сегмент,  $A_2$  – сегмент контролю,  $A_3$  – додатковий сегмент,  $A_4$  – сегмент спостереження,  $A_5$  – SPS- приймачі,  $A_6$  – PPS- приймачі), вершини

$B_1, B_2, B_3, B_4, C_1, C_2, C_3, C_4$  – відповідають вхідним та вихідним даним операцій  $A_q$ , а ребра  $P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{21}, P_{23}, P_{24}, P_{25}, P_{32}, P_{34}, P_{41}, P_{42}, P_{45}, P_{46}, P_{51}, P_{61}$  – зв'язкам між елементами  $A_q, A_q'$  (встановленими на кроці 4.1), (рис. 4.14).

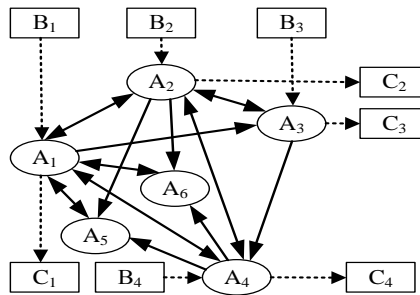


Рис. 4.14. Графоаналітичне відображення функціональних процесів системи  $S_{SNS}$

### Етап 6. Оцінювання якості функціонування системи КІІ

**Верифікація 1.** Для системи  $S_{SNS}$  згідно (2.16), побудуємо узгоджену матрицю впливу всіх ЕІІ на всі функціональні операції системи (табл. 4.11) (значення величин  $q_0 = 0,5$ ;  $q_1 = 1,5$ ).

Таблиця 4.11

Матриця впливу елементів КІІ на функціональні операції

Операція ( $A_q$ )	Шкала ступенів пошкодження елементів $a_m$		
	$d(a_1)=0$	$d(a_1)=1$	$d(a_1)=2$
$A_1$	0	1	2
$A_2$	0	1	2
$A_3$	0	1	1
	$d(a_2)=0$	$d(a_2)=1$	$d(a_2)=2$
$A_1$	0	1	1
$A_2$	0	2	2
$A_3$	0	1	2
	$d(a_3)=0$	$d(a_3)=1$	$d(a_3)=2$
$A_1$	0	0	1
$A_2$	0	0	1
$A_3$	0	1	2

Для системи  $S_{\text{SNS}}$ , згідно табл. 4.11, при  $b = o = 3$ , множина ранжованих за порядком важливості для системи ЕП має вигляд:  $\mathbf{VEI}_{\text{SNS}} = \{a_2, a_1, a_3\}$ , де  $a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольно-спостережна станція,  $a_3$  – приймачі.

Верифікація 2. Для системи  $S_{\text{SNS}}$  згідно (2.16), побудуємо узгоджену матрицю впливу всіх ЕП на всі функціональні операції системи (табл. 4.12) (значення величин  $q_0 = 0,5$ ;  $q_1 = 1,5$ ).

Таблиця 4.12

Матриця впливу елементів КІІ на функціональні операції

Операція ( $A_q$ )	Шкала ступенів пошкодження елементів $a_m$		
	$d(a_1)=0$	$d(a_1)=1$	$d(a_1)=2$
$A_1$	0	1	2
$A_2$	0	1	2
$A_3$	0	1	1
$A_4$	0	1	2
$A_5$	0	1	1
$A_6$	0	1	1
	$d(a_2)=0$	$d(a_2)=1$	$d(a_2)=2$
$A_1$	0	1	2
$A_2$	0	2	2
$A_3$	0	1	2
$A_4$	0	1	2
$A_5$	0	1	1
$A_6$	0	1	1
	$d(a_3)=0$	$d(a_3)=1$	$d(a_3)=2$
$A_1$	0	0	1
$A_2$	0	1	1
$A_3$	0	1	2
$A_4$	0	1	2
$A_5$	0	0	1
$A_6$	0	0	1



Закінчення табл. 4.12

	$d(a_4)=0$	$d(a_4)=1$	$d(a_4)=2$
$A_1$	0	1	2
$A_2$	0	1	2
$A_3$	0	0	1
$A_4$	0	2	2
$A_5$	0	1	2
$A_6$	0	1	2
	$d(a_5)=0$	$d(a_5)=1$	$d(a_5)=2$
$A_1$	0	1	1
$A_2$	0	1	1
$A_3$	0	0	1
$A_4$	0	1	1
$A_5$	0	1	2
$A_6$	0	1	2
	$d(a_6)=0$	$d(a_6)=1$	$d(a_6)=2$
$A_1$	0	1	1
$A_2$	0	1	1
$A_3$	0	0	1
$A_4$	0	1	1
$A_5$	0	1	2
$A_6$	0	1	2

Для системи  $S_{SNS}$ , згідно табл. 4.12, при  $b = o = 6$ , множина ранжованих за порядком важливості для системи ЕП має вигляд:  $\mathbf{VEI}_{SNS} = \{a_2, a_4, a_1, a_5, a_6, a_3\}$ , де  $a_1$  – ШСЗ,  $a_2$  – контрольна станція,  $a_3$  – додаткова станція,  $a_4$  – спостережна станція,  $a_5$  – SPS- приймачі,  $a_6$  – PPS- приймачі.

Отже, експериментальне дослідження довело можливість використання розробленого методу для ідентифікації елементів галузі КП, визначення взаємовпливу та впливу на функціональні операції КАІС.

### 4.3. Експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КІ авіаційної галузі

У роботах [9-11] було проведено експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів КІ. Розглянемо детально кожен з етапів реалізації запропонованого методу, а для оцінювання критичності КАІС оберемо з кожної із категорій [12] одну систему.

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

Крок 1.1-1.2. Множини класів та систем КАІС згідно [12], при  $n = 1, n = 2, n = 3$  та  $m_1 = 5, m_2 = 7, m_3 = 4$  з урахуванням (2.1) були визначені у розділі 2.2 (див. табл. 2.5) наступним чином:

$$\begin{aligned} S_{KAIS} &= \{S_1, S_2, S_3\} = \{S_{ISAO}, S_{BSPS}, S_{ISAA}\} = \\ &= \{\{S_{1.1}, S_{1.2}, S_{1.3}, S_{1.4}, S_{1.5}\}, \{S_{2.1}, S_{2.2}, S_{2.3}, S_{2.4}, S_{2.5}, S_{2.6}, S_{2.7}\}, \{S_{3.1}, S_{3.2}, S_{3.3}, S_{3.4}, S_{3.5}\}\} = \\ &= \{\{S_{SAE}, S_{RZZP}, S_{SSP}, S_{SOD}, S_{SMZ}\}, \{S_{SPS}, S_{SZV}, S_{NAVS}, S_{SSPZ}, S_{OSL}, S_{SVI}, S_{ABSK}\}, \{S_{CRS}, S_{GDS}, S_{IDS}, S_{BSP}, S_{DCS}\}\} \end{aligned}$$

Крок 1.3. Для визначення множин підсистем довільно оберемо з кожного класу одну множину систем, наприклад  $S_{SOD}, S_{SSPZ}, S_{GDS}$  та згідно (2.4) представимо множини підсистем при  $r_{1.4} = 5, r_{2.4} = 4, r_{3.2} = 18$ , та отримані дані запишемо у табл. 4.13, де  $S_{1.4.1} = S_{ASYPR}$  – автоматизовані системи управління повітряним рухом (АС УПР);  $S_{1.4.2} = S_{SPPP}$  – автоматизовані системи планування використання повітряного простору;  $S_{1.4.3} = S_{ESAN}$  – централізовані системи обробки та розповсюдження даних спостереження Європейської організації з безпеки аеронавігації Eurocontrol;  $S_{1.4.4} = S_{SOPD}$  – системи обробки та передачі польотних даних;  $S_{1.4.5} = S_{SOAD}$  – системи обробки та передачі аеронавігаційної інформації;  $S_{2.4.1} = S_{TRA}$  – транспондери;  $S_{2.4.2} = S_{TCAS}$  – бортові системи попередження зіткнень (TCAS);  $S_{2.4.3} = S_{SRPZ}$  – системи раннього попередження небезпечних зближень із землею;  $S_{2.4.4} = S_{BMR}$  – бортові метеонавігаційні радіолокатори;  $S_{3.2.1} = S_{AMDS}$  – Amadeus;  $S_{3.2.2} = S_{TGDS}$  – Travelport GDS;  $S_{3.2.3} = S_{SAB}$  – Sabre;  $S_{3.2.4} = S_{TRES}$  – TameliaRES;  $S_{3.2.5} = S_{APSS}$  – Avantik PSS;  $S_{3.2.6} = S_{ABCS}$  – Abacus;  $S_{3.2.7} = S_{ACA}$  – AccelAero;  $S_{3.2.8} = S_{AXS}$  – Axess;

$S_{3.2.9} = S_{\text{IBE}}$  – Internet Booking Engine;  $S_{3.2.10} = S_{\text{KUI}}$  – KIU;  $S_{3.2.11} = S_{\text{MER}}$  – Mercator;  $S_{3.2.12} = S_{\text{NAV}}$  – Navitaire;  $S_{3.2.13} = S_{\text{PATH}}$  – Patheo;  $S_{3.2.14} = S_{\text{RAD}}$  – Radixx;  $S_{3.2.15} = S_{\text{AKF}}$  – Akeflite;  $S_{3.2.16} = S_{\text{TTI}}$  – Travel Technology Interactive;  $S_{3.2.17} = S_{\text{WSMS}}$  – WorldTicket Sell-More-Seats;  $S_{3.2.18} = S_{\text{SIR}}$  – Сирена згідно [12].

Таблиця 4.13

## Представлення множини підсистем

Система	Значення $r_{ij}$	Множина підсистем	Назва множин підсистем
$S_{\text{SOD}}$	$r_{1.4} = 5,$	$S_{1.4.1}, S_{1.4.2}, S_{1.4.3}, S_{1.4.4}, S_{1.4.5}$	$S_{\text{ASYPR}}, S_{\text{SPPP}}, S_{\text{ESAN}}, S_{\text{SOPD}}, S_{\text{SOAD}}$
$S_{\text{SSPZ}}$	$r_{2.4} = 4,$	$S_{2.4.1}, S_{2.4.2}, S_{2.4.3}, S_{2.4.4}$	$S_{\text{TRA}}, S_{\text{TCAS}}, S_{\text{SRPZ}}, S_{\text{BMR}}$
$S_{\text{GDS}}$	$r_{3.2} = 18,$	$S_{3.2.1}, S_{3.2.2}, S_{3.2.3}, S_{3.2.4}, S_{3.2.5}, S_{3.2.6},$ $S_{3.2.7}, S_{3.2.8}, S_{3.2.9}, S_{3.2.10}, S_{3.2.11}, S_{3.2.12},$ $S_{3.2.13}, S_{3.2.14}, S_{3.2.15}, S_{3.2.16}, S_{3.2.17}, S_{3.2.18}$	$S_{\text{AMDS}}, S_{\text{TGDS}}, S_{\text{SAB}}, S_{\text{TRES}}, S_{\text{APSS}}, S_{\text{ABCS}},$ $S_{\text{ACA}}, S_{\text{AXS}}, S_{\text{IBE}}, S_{\text{KUI}}, S_{\text{MER}}, S_{\text{NAV}},$ $S_{\text{PATH}}, S_{\text{RAD}}, S_{\text{AKF}}, S_{\text{TTI}}, S_{\text{WSMS}}, S_{\text{SIR}}$

**Крок 1.4.** Для визначення множини компонентів довільно оберемо одну підсистему з кожної множини підсистем (табл. 4.13), наприклад  $S_{\text{SOAD}}, S_{\text{TCAS}}, S_{\text{AMDS}}$ . Для системи  $S_{\text{SOAD}}$ , при  $b=7$ , з використанням (3.1), представимо множину компонентів таким чином:

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

де  $C_1 = C_{\text{ODSS}}$  – обробки даних системи спостереження;  $C_2 = C_{\text{OPD}}$  – обробки польотних даних;  $C_3 = C_{\text{MKS}}$  – моніторингу та контролю систем;  $C_4 = C_{\text{ZVI}}$  – запису та відтворення інформації;  $C_5 = C_{\text{KGZ}}$  – комутації голосового зв'язку;  $C_6 = C_{\text{PPR}}$  – підтримки прийняття рішень;  $C_7 = C_{\text{ZBP}}$  – забезпечення безпеки польотів [13].

Аналогічним чином для систем  $S_{\text{TCAS}}$  згідно [14-15], та  $S_{\text{AMDS}}$  згідно [16-17], при  $b=5$  та  $b=4$  з використанням (3.1) відповідно, представимо множину компонентів (табл. 4.14), де  $C_8 = C_{\text{ANT}}$  – антени;  $C_9 = C_{\text{BLO}}$  – блок обчислювача;  $C_{10} = C_{\text{VRS}}$  – відповідач режиму S;  $C_{11} = C_{\text{IND}}$  – індикатори (встановлені в кабіні екіпажу);  $C_{12} = C_{\text{PYL}}$  – пульт управління;  $C_{13} = C_{\text{ATIM}}$  –

Amadeus Timetable;  $C_{14} = C_{AAV}$  – Amadeus availability;  $C_{15} = C_{ASCH}$  – Amadeus schedules;  $C_{16} = C_{ADA}$  – Amadeus direct access.

Таблиця 4.14

## Представлення множини компонентів

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

Крок 1.5. 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  $S_{ISAO} / S_{SOD} / S_{SOAD} / C_{SOAD}$ ;  $S_{BSPS} / S_{SSPZ} / S_{TCAS} / C_{TCAS}$ ;  $S_{ISAA} / S_{GDS} / S_{AMDS} / C_{AMDS}$  і стосуються лише наслідків можливих переривань роботи визначених компонентів  $C_i$ .

**Етап 2. Визначення функцій кожного виявленого компонента системи.** Для системи  $S_{SOAD}$ , що містить множину компонентів  $C_{SOAD}$ , при  $l = 15$ , з використанням (3.2), представимо множину функцій таким чином:

$$F_{SOAD} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{15} F_i \right\} = \{F_1, F_2, \dots, F_{15}\} =$$

$= \{F_{OSG}, F_{POI}, F_{VOI}, F_{OPD}, F_{KPOL}, F_{PPAT}, F_{VVI}, F_{DVI}, F_{ZDGZ}, F_{APR}, F_{PZIT}, F_{VPI}, F_{VVKS}, F_{PAP}, F_{ZBP}\}$ ,  
 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 [12].

Аналогічним чином, для систем  $S_{TCAS}$  згідно [14] та  $S_{AMDS}$  згідно [16],  
 множини компонентів  $C_{TCAS}$  та  $C_{AMDS}$ , при  $l = 14$  та  $l = 4$ , з використанням  
 (3.2), представимо множини функцій (табл. 4.15), 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;  $F_{21} = F_{PMP}$  –  
 передавання мовних повідомлень пілотів через розташовану в кабіні літака  
 систему звукового оповіщення;  $F_{22} = F_{VNZ}$  – 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;  $F_{23} = F_{ODSS}$  – 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 інформація (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;  $F_{32} = F_{VGVR}$  – 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 4.15

## Представлення множин функцій

Система / Підсистема	Множина компонентів підсистеми	Значення $l$	Функції множин компонентів	Назва функцій множин компонентів
$S_{SOAD}$	$C_{SOAD}$	15	$F_1, F_2, \dots, F_{15}$	$F_{OSG}, F_{POI}, \dots, F_{ZBP}$
$S_{TCAS}$	$C_{TCAS}$	14	$F_{16}, F_{17}, \dots, F_{29}$	$F_{PPR}, F_{ZIL}, \dots, F_{PRS}$
$S_{AMDS}$	$C_{AMDS}$	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  $S_{SOAD}$  множини компонентів  $C_{SOAD}$ , при  $p = 9$ , з використанням (3.3), представимо множину переривань роботи таким чином:

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

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 [13].

Аналогічним чином, для систем  $S_{TCAS}$  згідно [14-15] та  $S_{AMDS}$  згідно [16-17], множини компонентів  $C_{TCAS}$  та  $C_{AMDS}$ , при  $p=9$  та  $p=17$  відповідно, з використанням (3.3), представимо множину переривань роботи (табл. 4.16), 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 покажчика 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 відобразити попередження про повітряну обстановку;  $D_{17} = D_{RAF}$  – «RA FAIL» (відмова видачі повідомлень RA) з'являється коли система TCAS не в змозі відобразити рекомендації щодо усунення конфліктної 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.

## Представлення множин переривань роботи

Система / Підсистема	Множина компонентів підсистеми	Значення $p$	Переривання роботи	Назва переривань роботи
$S_{SOAD}$	$C_{SOAD}$	9	$D_1, D_2, \dots, D_9$	$D_{VNIS}, D_{NOPS}, \dots, D_{VAF}$
$S_{TCAS}$	$C_{TCAS}$	9	$D_{10}, D_{11}, \dots, D_{18}$	$D_{VNA}, D_{VOBS}, \dots, D_{NPY}$
$S_{AMDS}$	$C_{AMDS}$	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  $D_{SOAD}$  при  $q = 10$ , з використанням (3.4), представимо множину наслідків переривань таким чином:

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

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, електроживлення, зв'язку, пілотування, нестача палива, перебої в життєзабезпеченні екіпажу і пасажирів, відмова двигунів, руйнування окремих конструкцій літака [13].

Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи множин  $D_{TCAS}$  згідно [14] та  $D_{AMDS}$  згідно [16], при  $q = 3$  та  $q = 6$  відповідно, з використанням (3.4), представимо множину переривань роботи (табл. 4.17), 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 пульта 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 дозаправкою, можливість появи загрози зіткнення;  $E_{19} = E_{NSP}$  – непоінформованість співробітників, що загрожує прийняттям неправильного рішення.

Таблиця 4.17

## Представлення множин наслідків переривань роботи

Переривання роботи	Значення $q$	Наслідки переривань роботи	Назви наслідків переривань роботи
$D_{SOAD}$	10	$E_1, E_2, \dots, E_{10}$	$E_{NPR}, E_{PRSY}, \dots, E_{PRZ}$
$D_{TCAS}$	3	$E_{11}, E_{12}, E_{13}$	$E_{NVVP}, E_{NVP}, E_{NVPY}$
$D_{AMDS}$	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  $D_{SOAD}$ , з використанням (3.5), (3.6), при  $r = 0$  (у обраній множині переривань роботи не виявлено жодної ознаки  $O_i$ ), а для множини  $D_{TCAS}$ , згідно [14-15] та  $D_{AMDS}$ , згідно [16-17], при  $r = 1$  та  $r = 3$  відповідно, з використанням (3.5), (3.6), представимо множину ознак виявлення переривань роботи (табл. 4.18) таким чином:

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

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 (3.6),  $E(O_{VSI}, D_i) = E(O_{TIM}, D_i) = E(O_{AUS}, D_i) = E(O_{SCH}, D_i) = 1$ .

Таблиця 4.18

Представлення множин ознак виявлення переривань роботи

Переривання роботи	Значення $r$	Наслідки переривань роботи	Назви наслідків переривань роботи
$D_{TCAS}$	1	$O_1$	$O_{VSI}$
$D_{AMDS}$	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  $D_{SOAD}$  згідно [13],  $D_{TCAS}$  згідно [15] та  $D_{AMDS}$  згідно [17], з використанням (3.7), при  $s = 7, s = 1, s = 1$  відповідно, представимо множину способів виявлення переривань (табл. 4.19) таким чином:

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

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 забезпечення;  $W_4 = W_{BBRP}$  – 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.

Таблиця 4.19

Представлення множин способів виявлення переривань

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

**Етап 7. Побудова тривимірної матриці критичності.** Для системи  $S_{SOAD}$  сформуємо таблицю критичності [18-20] за такими параметрами «ймовірність – тяжкість – кількість переривань роботи системи» та побудуємо тривимірну матрицю критичності (рис. 4.15).

Аналогічним чином для систем  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$  формуємо таблицю критичності згідно табл. 3.1 та табл. 3.2 та будуємо тривимірну матрицю (рис. 4.16 та рис. 4.17 відповідно).

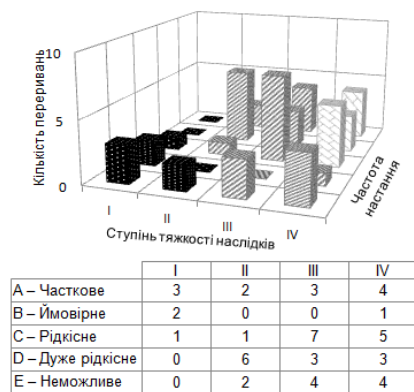


Рис. 4.15. Тривимірна матриця критичності для  $S_{SOAD}$

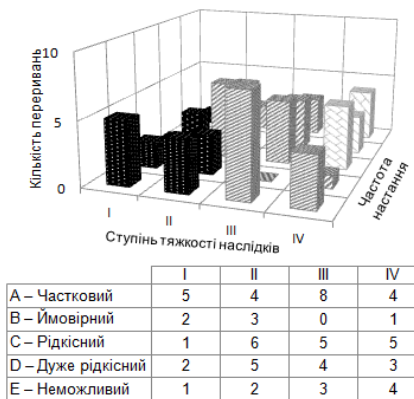


Рис. 4.16. Тривимірна матриця критичності для  $S_{TCAS}$

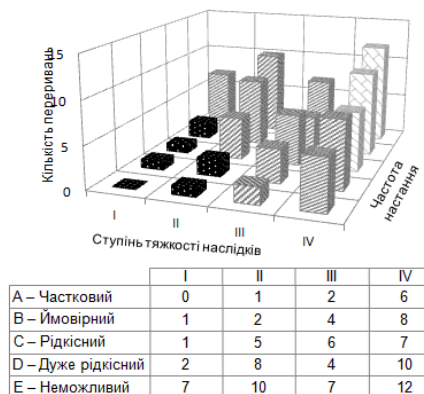


Рис. 4.17. Тривимірна матриця критичності для  $S_{AMDS}$

## Етап 8. Розрахунок рангу критичності ймовірних переривань.

Крок 8.1. Для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , визначимо показник  $B_{1j}$  (оцінка частоти) за (3.10), де значення  $z$  знаходимо відповідно до табл. 3.4. Отже визначимо показник  $B_1 = 5$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , визначаємо показник  $B_{1j}$  за (3.10), табл. 3.4 та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 4.24).

Крок 8.2. Для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , визначимо показник  $B_{2j}$  (оцінка ймовірності виявлення  $D_i$  компонента  $C_i$  до його проявлення) за (3.11), де значення  $x$  знаходимо аналогічно за табл. 3.6. Отже, визначимо показник  $B_2 = 4$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , визначаємо показник  $B_{2j}$  за (3.11), табл. 3.6 та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 4.24).

Крок 8.3. Для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , визначимо показник  $B_{3j}$  (оцінка тяжкості  $D_i$  компонента  $C_i$ ) за (3.12), де значення  $c$  знаходимо аналогічно (див. табл. 3.8). Отже, визначимо показник  $B'_3 = 7$ . Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , визначаємо показник  $B'_3$  за (3.12), табл. 3.8 та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 4.24).

Крок 8.4. Розрахунок вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи. Вагові коефіцієнти тяжкості наслідків представлені згідно [21] у (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

Вагові коефіцієнти тяжкості наслідків

Значення	1	2	3	4	5
Критерії					
Кількість залучених громадян (здоров'я та соціальні наслідки) (7)	0-5 загиблих	6-20 загиблих	21-100 загиблих	101-499 загиблих	$\geq 500$ загиблих

Закінчення табл. 4.20

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 8.4.1.* Наприклад, для вагових коефіцієнтів тяжкості наслідків переривань роботи згідно [21], при  $n=7$  з урахуванням (3.13), визначимо повну множину критеріїв вагових коефіцієнтів таким чином:

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

де  $\mathbf{VK}_1 = \mathbf{VK}_{\text{KZG}}$  – кількість залучених громадян (здоров'я та соціальні наслідки);  $\mathbf{VK}_2 = \mathbf{VK}_{\text{EKON}}$  – економічний ефект;  $\mathbf{VK}_3 = \mathbf{VK}_{\text{VNNS}}$  – вплив на навколишнє середовище;  $\mathbf{VK}_4 = \mathbf{VK}_{\text{POLN}}$  – політичні наслідки;  $\mathbf{VK}_5 = \mathbf{VK}_{\text{MZT}}$  – масштабність за територією;  $\mathbf{VK}_6 = \mathbf{VK}_{\text{TRV}}$  – тривалість;  $\mathbf{VK}_7 = \mathbf{VK}_{\text{VSKI}}$  – взаємозалежність секторів КІ (наслідком руйнації одного є руйнація інших) згідно [21].

Слід зазначити, що у табл. 4.20 критерії коефіцієнтів тяжкості наслідків розміщено за пріоритетом у порядку спадання (найбільш важливий – 7, а найменш важливий – 1).

*Крок 8.4.2.* Наприклад, при  $n=1$ ,  $m_1=5$  з використанням (3.14), представимо множину коефіцієнтів  $\mathbf{VK}_1$  таким чином:

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

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

Аналогічним чином, для множин коефіцієнтів  $VK_2, VK_2, \dots, VK_7$ , при  $n = \overline{2,7}$  та  $m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = 5$  відповідно, з використанням (3.14) представимо множини коефіцієнтів та занесемо у табл. 4.21, 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 діб;  $VK_{6.5} = VK_{10DIB}$  – 10 діб;  $VK_{7.1} = VK_{MVID}$  – майже відсутня;  $VK_{7.2} = VK_{NVR}$  – не викликає руйнації;  $VK_{7.3} = VK_{VRIS}$  – викликає руйнацію одного сектору;  $VK_{7.4} = VK_{VR2S}$  – викликає руйнацію двох секторів;  $VK_{7.5} = VK_{VR3S}$  – викликає руйнацію трьох і більше секторів [21].

Таблиця 4.21

## Представлення множин коефіцієнтів

Вагові коефіцієнти	Назва коефіцієнтів	Значення $m_i$	Множина коефіцієнтів	Назва множин коефіцієнтів
$VK_1$	$VK_{KZG}$	5	$VK_{1.1}, VK_{1.2}, VK_{1.3}, VK_{1.4}, VK_{1.5}$	$VK_{0-5}, VK_{6-20}, VK_{D100}, VK_{D499}, VK_{B500}$

$VK_2$	$VK_{EKON}$	$VK_{2,1}, VK_{2,2}, VK_{2,3}, VK_{2,4}, VK_{2,5}$	$VK_{D100M}, VK_{D499M}, VK_{D2,9M}, VK_{D6,9M}, VK_{B7M}$
$VK_3$	$VK_{VNNS}$	$VK_{3,1}, VK_{3,2}, VK_{3,3}, VK_{3,4}, VK_{3,5}$	$VK_{M1G}, VK_{D10G}, VK_{D100G}, VK_{D1000G}, VK_{B1000G}$
$VK_4$	$VK_{POLN}$	$VK_{4,1}, VK_{4,2}, VK_{4,3}, VK_{4,4}, VK_{4,5}$	$VK_{MIN}, VK_{SOCN}, VK_{MITG}, VK_{MASZ}, VK_{REV}$
$VK_5$	$VK_{MZT}$	$VK_{5,1}, VK_{5,2}, VK_{5,3}, VK_{5,4}, VK_{5,5}$	$VK_{OBYD}, VK_{SEL}, VK_{RGN}, VK_{OBL}, VK_{DER}$
$VK_6$	$VK_{TRV}$	$VK_{6,1}, VK_{6,2}, VK_{6,3}, VK_{6,4}, VK_{6,5}$	$VK_{DGOD}, VK_{DOBA}, VK_{3DOB}, VK_{5DOB}, VK_{10DIB}$
$VK_7$	$VK_{VSKI}$	$VK_{7,1}, VK_{7,2}, VK_{7,3}, VK_{7,4}, VK_{7,5}$	$VK_{MVID}, VK_{NVR}, VK_{VR1S}, VK_{VR2S}, VK_{VR3S}$

Крок 8.4.3. Для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$  показник  $B_3 = 7$ , а значення вагового коефіцієнта, згідно табл. 4.20 (виділено сірим кольором) та за (3.16), 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, згідно (3.15)  $B'_3 = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \approx 5$ .

Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , розрахуємо показники  $B'_3$  з урахуванням вагових коефіцієнтів  $VK_i$ , а отримані дані заносимо до табл. 4.22 та звіту (етап 11, табл. 4.24).

Таблиця 4.22

## Розрахунок значень вагових коефіцієнтів

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

Крок 8.5. Розрахунок рангу критичності  $R_i$  кожного з перерахованих видів переривань роботи  $D_i$  згідно (3.9). Наприклад, для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNIS}$ , розрахуємо показник рангу критичності

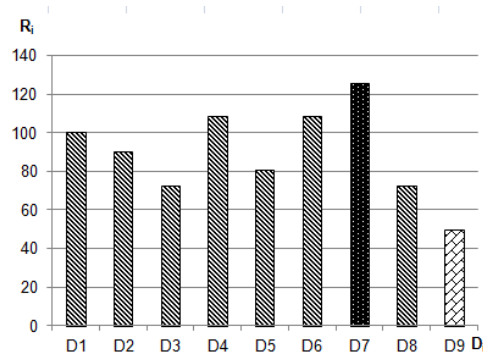
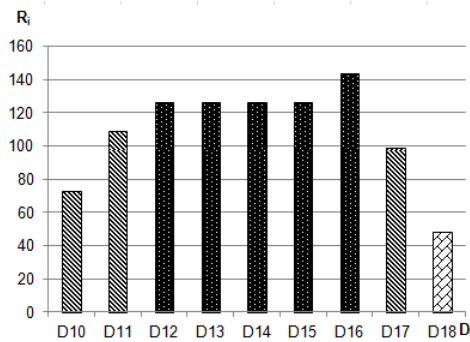
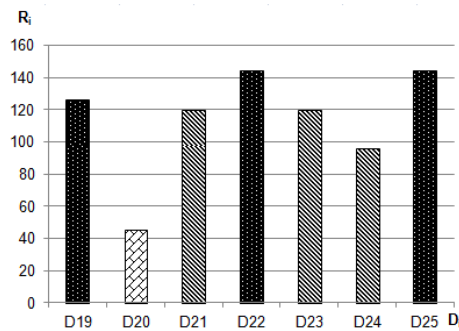
$R_1 = 5 \cdot 4 \cdot 5 = 100$  та отримані дані занесемо до звіту (етап 11). Аналогічним чином, для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , розрахуємо показники рангу критичності переривань та отримані дані занесемо до звіту (етап 11, табл. 4.24).

**Етап 9. Виділення переліку найбільш значущих (критичних) переривань роботи.** Для системи  $S_{SOAD}$ , переривання роботи  $D_1 = D_{VNS}$ , розрахований ранг критичності якого становить  $R_1 = 5 \cdot 4 \cdot 5 = 100$ , відповідно до правила визначення критичності (див. (3.17)),  $D_1 = D_{VNS}$  відноситься до рівня *Middle*, потребує розробки коригувальних заходів для зменшення рівня критичності. Отримані дані виділяємо у звіті (етап 11, табл. 4.24) за допомогою відповідного кольору, якщо  $D_i$ , відповідно до (3.17), відноситься до рівня критичності *High*, то  $R_i$  в табл. 4.24 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  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , ранжуємо розраховані значення рангу критичності за (3.17), та отримані дані заносимо до звіту (етап 11, табл. 4.24).

Крім того, на цьому етапі для виділення переліку найбільш значущих (критичних)  $D_i$  використовується стовпчаста діаграма Парето [18] (рис. 4.18-4.20), 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. (3.9)), 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. 4.18. Результати розрахунків  $R_i$  для  $S_{SOAD}$ Рис. 4.19. Результати розрахунків  $R_i$  для  $S_{TCAS}$ Рис. 4.20. 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  $S_{SOAD}$  найбільш критичним є переривання роботи  $D_7$ , розрахунок рангу критичності, проведений за (3.9), дав наступний результат:  $R_7 = 3 \cdot 6 \cdot 7 = 126 > R_k = 125$ . Для системи  $S_{TCAS}$  найбільш критичними є переривання роботи з  $D_{12}$  по  $D_{16}$ , розрахунок рангу критичності, проведений за (3.9), дав наступний результат  $R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = 126 > R_k = 125$ ;  $R_{16} = 144 > R_k = 125$ . Для системи  $S_{AMDS}$  найбільш

критичними є переривання роботи  $D_{19}, D_{22}, D_{25}$  розрахунок рангу критичності, проведений за (3.9), дав наступний результат  $R_{19} = 126 > R_k = 125$ ;  $R_{22} = R_{25} = 144 > R_k = 125$ . Також діаграми Парето дали можливість порівняти системи  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$  за кількістю критичних переривань роботи та визначити, що система  $S_{TCAS}$  є найбільш критичною серед обраних систем КАІС.

**Етап 10. Формування переліку коригувальних заходів.** Для складання переліку коригувальних заходів для систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$  побудуємо причинно-наслідкові діаграми Ісікави [22] (рис. 4.21-4.23), що графічно відображають характеристики, з якими пов'язане виникнення переривань роботи  $D_i$  і підвищують ефективність розробки коригувальних заходів.

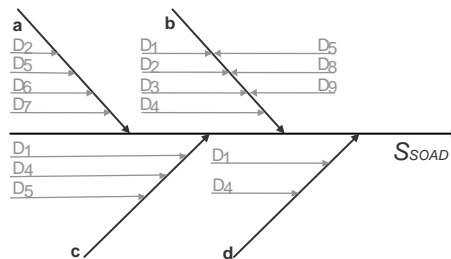


Рис. 4.21. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{SOAD}$

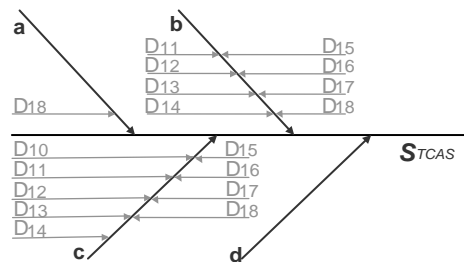


Рис. 4.22. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{TCAS}$

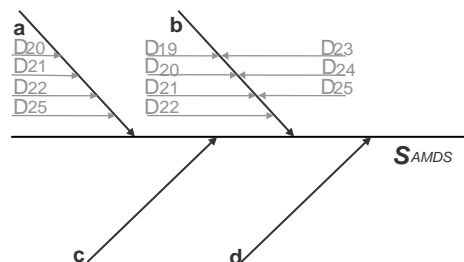


Рис. 4.23. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави для  $S_{AMDS}$

Причинно-наслідкові діаграми Ісікави для систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$  поділили всі ідентифіковані  $D_i$  за основними причинами їх виникнення, а саме

через помилки: користувачів (а), програмного забезпечення (б), апаратного забезпечення (с), мережевих технологій (д). Отже, пріоритетними напрямками розробки коригувальних заходів для систем  $S_{SOAD}$  та  $S_{AMDS}$  є усунення причин, пов'язаних з помилками у програмному забезпеченні та помилками користувачів (б та а на рис. 4.21, 4.23), для системи  $S_{TCAS}$  усунення причин, пов'язаних з апаратним та програмним забезпеченням (б та с на рис. 4.22).

Після чого для кожного можливого переривання роботи систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , при  $g = 3, g = 2, g = 1$  відповідно, з використанням (3.18), представимо множину способів виявлення переривань (які підпадають під рівні *High* та *Middle* за правилом (3.17)) таким чином:

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

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

Перелік необхідних для імплементації коригувальних заходів для систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , представлено у табл. 4.23. 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 4.23

## Перелік коригувальних заходів

$S_{ij} / S_{ijk}$	$D_i$	$R_{begin}$	$K_i$	$R_{finish}$
$S_{SOAD}$	$D_1$	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	$K_{OKPD}$	$3 \cdot 4 \cdot 6 = 72$
$S_{TCAS}$	$D_{10}$	72	$K_{PONA}$	$3 \cdot 3 \cdot 6 = 54$
	$D_{11}$	108	$K_{OROB}$	$3 \cdot 5 \cdot 6 = 90$
	$D_{12}$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_{13}$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_{14}$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$
	$D_{15}$	126	$K_{OROB}$	$3 \cdot 7 \cdot 5 = 105$
	$D_{16}$	144	$K_{OROB}$	$4 \cdot 5 \cdot 6 = 120$
$S_{AMDS}$	$D_{17}$	98	$K_{OROB}$	$2 \cdot 7 \cdot 7 = 98$
	$D_{19}$	126	$K_{VOAA}$	$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108$
	$D_{21}$	120	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 4 = 80$
	$D_{22}$	144	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 6 = 120$
	$D_{23}$	120	$K_{VOAA}$	$4 \cdot 5 \cdot 4 = 80$
	$D_{24}$	96	$K_{VOAA}$	$2 \cdot 6 \cdot 4 = 48$
	$D_{25}$	144	$K_{VOAA}$	$5 \cdot 6 \cdot 4 = 120$

З табл. 4.23 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 ( $S_i, S_{ij}, C_i, F_i, D_i, E_i, O_i, W_i$  та  $R_i$ ), візуалізація якісних та обчислення кількісних значень критичності КАІС. Етап передбачає систематизацію всієї інформації у вигляді таблиці. Приклад побудови звіту для систем  $S_{SOAD}$ ,  $S_{TCAS}$  та  $S_{AMDS}$ , представлено у табл. 4.24.

## Звіт для всіх рівнів аналізу

$S_i/S_{ij}/$ $S_{ijk}$	$C_i$	$F_i$	$D_i$	$E_i$	$O_i$	$W_i$	<b>R</b>			
							$B_1$	$B_2$	$B_3$	$R_i$
$S_{1.4.5}$	$C_1$	$F_1$	$D_1$	$E_1$	0	$W_1$	5	4	5	100
	$C_2$	$F_2$	$D_2$	$E_2$	0	$W_1$	3	5	6	90
	$C_3$	$F_3$	$D_3$	$E_3$	0	$W_2$	3	4	6	72
	$C_4$	$F_4$	$D_4$	$E_4$	0	$W_3$	3	6	6	108
	$C_5$	$F_5$	$D_5$	$E_5$	0	$W_4$	2	8	5	80
	$C_6$	$F_6$	$D_6$	$E_6$	0	$W_4$	3	6	6	108
	$C_7$	$F_7$	$D_7$	$E_7$	0	$W_5$	3	6	7	126
		$F_8$	$D_8$	$E_8$	0	$W_6$	3	4	6	72
		$F_9$	$D_9$	$E_9$	0	$W_7$	2	5	5	50
		...		$E_{10}$						
		$F_{15}$								
$S_{2.4.2}$	$C_8$	$F_{16}$	$D_{10}$	$E_{11}$	$O_1 = 1$	$W_8$	3	4	6	72
	$C_9$	$F_{17}$	$D_{11}$	$E_{12}$	$O_1 = 1$	$W_8$	3	6	6	108
	$C_{10}$	$F_{18}$	$D_{12}$	$E_{13}$	$O_1 = 1$	$W_8$	3	7	6	126
	$C_{11}$	$F_{19}$	$D_{13}$		$O_1 = 1$	$W_8$	3	7	7	126
	$C_{12}$	$F_{20}$	$D_{14}$		$O_1 = 1$	$W_8$	3	6	7	126
		$F_{21}$	$D_{15}$		$O_1 = 1$	$W_8$	3	7	6	126
		$F_{22}$	$D_{16}$		$O_1 = 1$	$W_8$	4	6	6	144
		$F_{23}$	$D_{17}$		$O_1 = 1$	$W_8$	2	7	7	98
		$F_{24}$	$D_{18}$		0	$W_8$	2	4	6	48
		...								
		$F_{29}$								
$S_{3.2.1}$	$C_{13}$	$F_{30}$	$D_{19}$	$E_{14}$	$O_2 = 1$	$W_9$	3	7	6	126
	$C_{14}$	$F_{31}$	$D_{20}$	$E_{15}$	$O_2 = 1$	$W_9$	3	5	3	45
	$C_{15}$	$F_{32}$	$D_{21}$	$E_{16}$	$O_2 = 1$	$W_9$	5	6	4	120
	$C_{16}$	$F_{33}$	$D_{22}$	$E_{17}$	$O_3 = 1$	$W_9$	4	6	6	144
			$D_{23}$	$E_{18}$	$O_4 = 1$	$W_9$	5	6	4	120
			$D_{24}$	$E_{19}$	0	$W_9$	4	6	4	96
			$D_{25}$		$O_3 = 1$	$W_9$	6	6	4	144

Таким чином, у табл. 4.24 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).

#### **4.4. Експериментальне дослідження методу визначення рівня КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі**

Приклад застосування розробленого методу для авіаційної галузі України згідно робіт [23-24].

##### **Етап 1. Визначення метрик та індексу КБ галузі КІІ**

*Крок 1.1.* Формування множин метрик КБ. Для метрик КБ згідно [25] при  $n = 4$ , з урахуванням (3.19), визначимо повну множину метрик КБ таким чином:

$$\mathbf{P}_{NIST} = \left\{ \bigcup_{i=1}^4 \mathbf{P}_i \right\} = \{ \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3, \mathbf{P}_4 \} = \{ \mathbf{P}_{GEN}, \mathbf{P}_{BAS}, \mathbf{P}_{ICM}, \mathbf{P}_{INT} \},$$

де  $\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_{GEN}$  – множина загальних індикаторів КБ,  $\mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_{BAS}$  – множина базових індикаторів,  $\mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_{ICM}$  – множина індикаторів інцидентів та кризового менеджменту,  $\mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_{INT}$  – множина індикаторів міжнародного впливу.

На основі підходу, запропонованого в [25-26], множину  $\mathbf{P}$  можна представити у вигляді зв'язних списків таким чином (рис. 4.24):

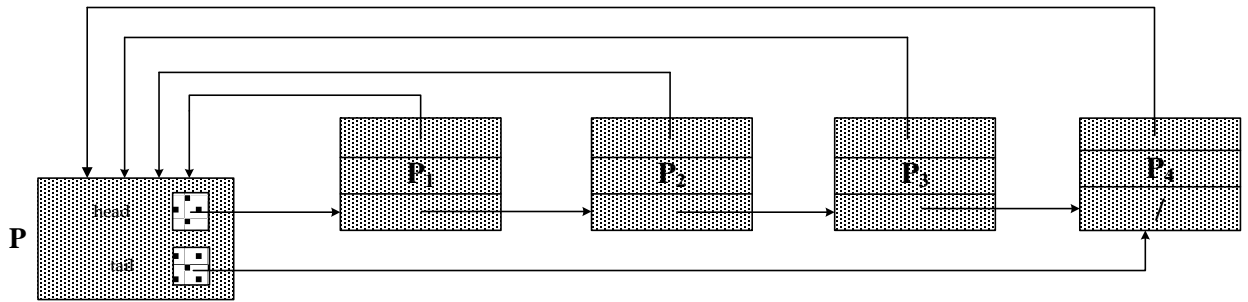


Рис. 4.24. Представлення базової множини метрик КБ у вигляді зв'язних списків

При  $n=1, m_1=3$  за допомогою (3.20) та [25] представимо множину

$\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_{GEN}$  таким чином:

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_{GEN} = \left\{ \bigcup_{j=1}^3 P_{1j} \right\} = \{P_{11}, P_{12}, P_{13}\} = \{P_{PLC}, P_{THR}, P_{EDU}\},$$

де  $P_{11} = P_{PLC}$  – можливість розробки національної (галузевої) політики щодо КБ ( $P_{PLC} \in [0;8]$ )  $P_{12} = P_{THR}$  – можливість аналізу кіберзагроз ( $P_{THR} \in [0;4]$ ),  $P_{13} = P_{EDU}$  – можливість надання освіти в сфері КБ ( $P_{EDU} \in [0;10]$ ).

Аналогічно до  $\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_{GEN}$ , при  $n=2, n=3, n=4$ , та  $m_2=4, m_3=4, m_4=1$  представимо  $\mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_{BAS}$ ,  $\mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_{ICM}$  та  $\mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_{INT}$  відповідно:

$$\mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_{BAS} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 P_{2j} \right\} = \{P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}\} = \{P_{BASS}, P_{ESEV}, P_{EIDN}, P_{CIP}\},$$

де  $P_{21} = P_{BASS}$  – потужність забезпечення базової КБ ( $P_{BASS} \in [0;11]$ ),  $P_{22} = P_{ESEV}$  – можливість забезпечення безпечного середовища для ІКТ послуг ( $P_{ESEV} \in [0;4]$ ),  $P_{23} = P_{EIDN}$  – можливість надання електронної ідентифікації ( $P_{EIDN} \in [0;8]$ ),  $P_{24} = P_{CIP}$  – можливість захисту важливих електронних послуг ( $P_{CIP} \in [0;6]$ );

$$\mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_{ICM} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 P_{3j} \right\} = \{P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}\} = \{P_{CIRS}, P_{CRIS}, P_{CRIM}, P_{MIL}\},$$

де  $P_{31} = P_{CIRS}$  – можливість виявлення і реагування на інциденти ( $P_{CIRS} \in [0;9]$ ),  $P_{32} = P_{CRIS}$  – можливість керувати великими інцидентами ( $P_{CRIS} \in [0;9]$ ),

$P_{33} = P_{CRIM}$  – ефективність боротьби з кіберзлочинністю ( $P_{CRIM} \in [0;10]$ ),

$P_{34} = P_{MIL}$  – потужність проведення кібероперацій ( $P_{MIL} \in [0;10]$ );

$$\mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_{INT} = \left\{ \bigcup_{j=1}^1 P_{4j} \right\} = \{P_{41}\} = \{P_{INT}\},$$

де  $P_{41} = P_{INT}$  – множина індикаторів міжнародного впливу ( $P_{INT} \in [0;10]$ ) [27].

З урахуванням (3.21) множина метрик буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^4 \mathbf{P}_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^4 \left\{ \bigcup_{j=1}^{m_i} P_{ij} \right\} \right\} = \left\{ \{P_{11}, P_{12}, P_{13}\}, \{P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}\}, \{P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}\}, \{P_{41}\} \right\} = \\ &= \left\{ \{P_{PLC}, P_{THR}, P_{EDU}\}, \{P_{BASS}, P_{ESEV}, P_{EIDN}, P_{CIP}\}, \{P_{CIRC}, P_{CRIS}, P_{CRIM}, P_{MIL}\}, \{P_{INT}\} \right\}, (i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}). \end{aligned}$$

Аналогічно, представимо множину  $\mathbf{P}$  з урахуванням системи підмножин у вигляді зв'язних списків (рис. 4.25):

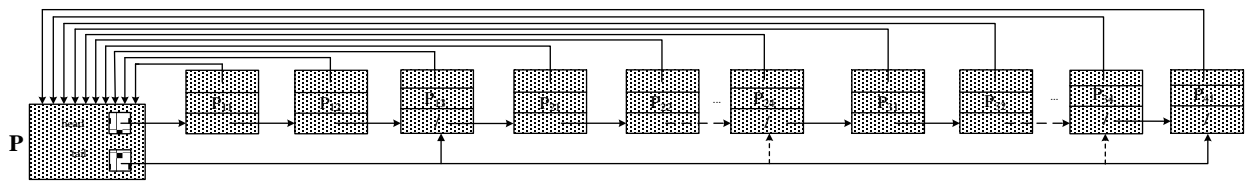


Рис. 4.25. Представлення базової множини метрик КБ з урахуванням системи підмножин у вигляді зв'язних списків

*Крок 1.2.* Обчислення індексу, що характеризує рівень КБ галузі КІІ згідно (3.22):

$$I_{CS} = \frac{(P_{PLC} + P_{THR} + P_{EDU} + P_{BASS} + P_{ESEV} + P_{EIDN} + P_{CIP} + P_{CIRC} + P_{CRIS} + P_{CRIM} + P_{MIL} + P_{INT}) \times 100}{P_{PLC}^{max} + P_{THR}^{max} + P_{EDU}^{max} + P_{BASS}^{max} + P_{ESEV}^{max} + P_{EIDN}^{max} + P_{CIP}^{max} + P_{CIRC}^{max} + P_{CRIS}^{max} + P_{CRIM}^{max} + P_{MIL}^{max} + P_{INT}^{max}} = 62,5 \%$$

**Етап 2. Визначення метрик розвитку та впровадження ІКТ у галузі КІ**

*Крок 2.1.* Формалізація метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ. Згідно [25], при  $q = 2$  з урахуванням (3.23), визначимо множину метрик розвитку і провадження ІКТ як:

$$\mathbf{M}_{ISD} = \left\{ \bigcup_{k=1}^2 \mathbf{M}_k \right\} = \{\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\} = \{\mathbf{M}_{IDI}, \mathbf{M}_{NRI}\},$$

де  $\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_{IDI}$  – індекс розвитку ІКТ,  $\mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_{NRI}$  – індекс мережевої готовності.



Аналогічно, враховуючи [25-26], представимо множину  $\mathbf{M}$  у вигляді зв'язних списків (рис. 4.26):

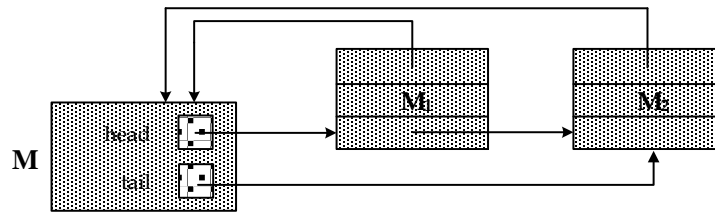


Рис. 4.26 Представлення метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ у вигляді зв'язних списків

При  $q = 1$ ,  $p_1 = 3$  представимо (3.24) у наступному вигляді:

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_{IDI} = \left\{ \bigcup_{r=1}^3 M_{I_r} \right\} = \{M_{11}, M_{12}, M_{13}\} = \{M_{ACC}, M_{USE}, M_{SKI}\},$$

де  $M_{11} = M_{ACC}$  – можливість безперервного доступу до ІКТ ( $M_{ACC} \in [0;100]$ ),  $M_{12} = M_{USE}$  – можливість використання ІКТ ( $M_{USE} \in [0;100]$ ),  $M_{13} = M_{SKI}$  – індекс навчання користувачів ( $M_{SKI} \in [0;100]$ ).

Аналогічно, при  $q = 2$ ,  $p_2 = 10$  представимо (3.24) у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_{NRI} &= \left\{ \bigcup_{r=1}^{10} M_{2r} \right\} = \{M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{24}, M_{25}, M_{26}, M_{27}, M_{28}, M_{29}, M_{210}\} = \\ &= \{M_{POL}, M_{INN}, M_{RDN}, M_{AFF}, M_{BUS}, M_{GOV}, M_{SOC}, M_{SKIL}, M_{USE}, M_{IMP}\}, \end{aligned}$$

де  $M_{21} = M_{POL}$  – показник, що характеризує політичне і нормативне середовище ( $M_{POL} \in [0;10]$ ),  $M_{22} = M_{INN}$  – показник, що характеризує середовище бізнесу та інновацій ( $M_{INN} \in [0;10]$ ),  $M_{23} = M_{RDN}$  – показник, що характеризує готовність ІКТ ( $M_{RDN} \in [0;10]$ ),  $M_{24} = M_{AFF}$  – показник, що характеризує доступність ІКТ ( $M_{AFF} \in [0;10]$ ),  $M_{25} = M_{BUS}$  – показник, що характеризує використання бізнес сфери ( $M_{BUS} \in [0;10]$ ),  $M_{26} = M_{GOV}$  – показник, що характеризує підтримку держави ( $M_{GOV} \in [0;10]$ ),  $M_{27} = M_{SOC}$  – показник, що характеризує соціальний вплив ( $M_{SOC} \in [0;10]$ ),  $M_{28} = M_{SKIL}$  – показник, що характеризує вміння ефективно використовувати ІКТ ( $M_{SKIL} \in [0;10]$ ),  $M_{29} = M_{USE}$  – показник, що

характеризує зусилля для підвищення ефективності використання ІКТ ( $M_{USE} \in [0;10]$ ),  $M_{210} = M_{IMP}$  – показник, що характеризує вплив на підвищення загального рівня ІКТ ( $M_{IMP} \in [0;10]$ ).

Згідно [25], при  $q = 2$ ,  $p_1 = 3$ ,  $p_2 = 10$  з урахуванням (3.25), множина метрик буде мати наступний вигляд:

$$\mathbf{M} = \left\{ \bigcup_{k=1}^q \mathbf{M}_k \right\} = \left\{ \left\{ \bigcup_{k=1}^q \left\{ \bigcup_{r=1}^{p_i} M_{kr} \right\} \right\} \right\} = \{ \{ M_{11}, M_{12}, M_{13} \}, \\ \{ M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{24}, M_{25}, M_{26}, M_{27}, M_{28}, M_{29}, M_{210} \} \} = \{ \{ M_{ACC}, M_{USE}, M_{SKI} \}, \\ \{ M_{POL}, M_{INN}, M_{RDN}, M_{AFF}, M_{BUS}, M_{GOV}, M_{SOC}, M_{SKIL}, M_{USE}, M_{IMP} \} \}, (k = \overline{1, q}, r = \overline{1, p_i}).$$

Аналогічно, представимо множину  $\mathbf{M}$  з урахуванням підмножин таким чином (рис. 4.27):

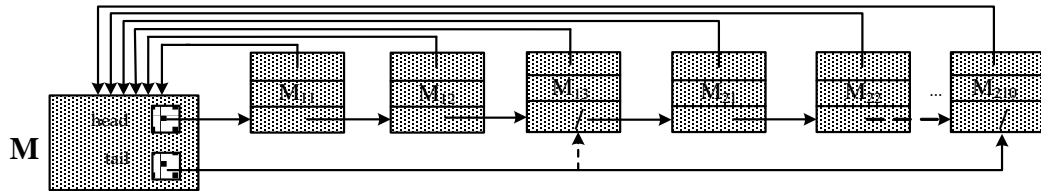


Рис. 4.27 Представлення метрик, які характеризують розвиток, готовність і доступність ІКТ з урахуванням підмножин у вигляді зв'язних списків

*Крок 2.2.* Обчислення метрик розвитку та впровадження ІКТ, згідно (3.26):

$$I_{ICS} = \frac{1}{2} ((M_{ACC} + M_{USE} + M_{SKI}) + (M_{POL} + M_{INN} + M_{RDN} + M_{AFF} + M_{BUS} + M_{GOV} + M_{SOC} + M_{SKIL} + M_{USE} + M_{IMP})) = 55,5 \%$$

### Етап 3. Розрахунок кількісних параметрів, які характеризують рівень КБ галузі КІІ

На основі отриманих на кроці 1.2 та кроці 2.2 значень та згідно (3.27), можемо отримати кількісні параметри, які характеризують рівень КБ галузі цивільної авіації України:

$$I_{ratio} = I_{CS} - I_{ICS} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} P_{ij} \times 100\%}{\sum_{ij}^{max} P_{ij}} - \frac{\sum_{k=1}^q M_k}{q} = 62,5 \% - 55,5 \% = 7 \%$$

Як показує міжнародний досвід [25], розрахований рівень КБ може приймати значення  $-99\% \leq I_{ratio} \leq 99\%$ , а критерієм достатності є значення  $0\% \leq I_{ratio} \leq 20\%$ , що свідчить про необхідний рівень КБ галузі КІІ, або цілої держави (на основі практичних рекомендацій NCSI). На рис. 4.28 відображені результати експериментального дослідження методу визначення рівня КБ для галузі цивільної авіації. Для розрахунку кількісних параметрів були введені такі обмеження  $I_{CS} \geq I_{ICS}; \min I_{CS} \geq 50\%; \min I_{ICS} = 50\%$ . З метою перевірки адекватності реагування методу на вхідні дані було проведено два додаткові експерименти – спочатку зменшено апріорні показники, що характеризують стан кібербезпеки ( $I_{ratio_2} = I_{CS_2} - I_{ICS_2} = 1,5\%$ ), а потім показники, що характеризують впровадження КТ ( $I_{ratio_3} = I_{CS_3} - I_{ICS_3} = 17\%$ ).

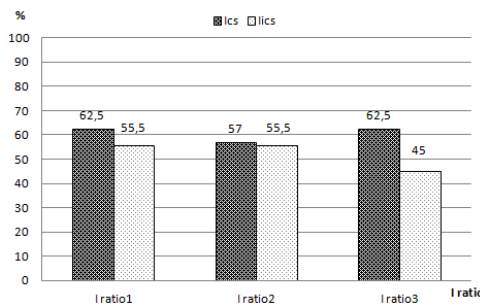


Рис. 4.28. Експериментальне дослідження методу визначення рівня КБ

Отримані результати (рис. 4.28) підтвердили можливість застосування розробленого методу для розрахунку кількісних параметрів, які характеризують захищеність галузі цивільної авіації.

#### 4.5. Висновки до четвертого розділу

Таким чином, у цьому розділі на основі запропонованої методики та розробленого спеціалізованого програмного застосунку проведено експериментальне дослідження і верифіковано отримані у роботі методи ідентифікації та оцінювання стану КБ авіаційної галузі.

#### 4.6. Список літератури до четвертого розділу

1. Цехмістрова Г.С. Основи наукових досліджень Навчальний посібник. – Київ: Видавничий Дім «Слово», 2003. – 240 с.

2. Огляд нової платформи «1С Підприємство 8.3». URL: <http://erp-project.com.ua/index.php/uk/novini/item/206-obzor-novoj-platfomy-1s-predpriyatie-8-3>.
3. С. Гнатюк, В. Кінзерявий, В. Сидоренко, «Метод ідентифікації об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в авіаційній галузі», *Information technology and security*, July-December 2017. vol. 5. Iss. 2, p. 27- 39, 2017.
4. Ю. Соловьев, «Системы спутниковой навигации», М.: Эко-Трендз, 270 с., 2000.
5. О. Голуб, С. Шеремет, «Спутникові системи навігації на транспорті», Електронний підручник. URL: [http://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria2.html](http://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria2.html). [Дата доступу: вересень 2017].
6. І. Сновидов, «Фактори, що впливають на точність промірювань», *Вісник держгідрографії*, 1 (48), 2015.
7. Я. Максименко «Дослідження службових параметрів наземних та бортових приймачів з використанням системи GPS». URL: [http://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/work/2015/Maksimenko/Maksimenko\\_PZ.pdf](http://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/work/2015/Maksimenko/Maksimenko_PZ.pdf). [Дата доступу: вересень 2017].
8. M. Tavallae, E. Bagheri, W. Lu, and A. Ghorbani, «A Detailed Analysis of the KDD CUP 99 Data Set,» Submitted to Second IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA), 2009.
9. 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.
10. В. Сидоренко, С. Гнатюк, О. Юдін, «Експериментальне дослідження методу визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури в галузі цивільної авіації», *Захист інформації*, т. 19, №2, с. 155-172, 2017.
11. В. Сидоренко, «Способи відображення результатів оцінювання рівня важливості об'єктів критичної інфраструктури», Матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2017. Сучасні проблеми науки», К., 5-7 квітня 2017 р., с. 102-103, 2017.
12. С. Гнатюк, Д. Васильєв «Сучасні критичні авіаційні інформаційні системи», *Безпека інформації*, т. 22, № 1, с. 51-57, 2016.

13. Р. Ахмедов, А. Бибутов, А. Васильев, Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации: уч. пос., СПб.: Политехника, 446 с., 2004.
14. Ф. Яновський, Радіолокаційні системи повітряних суден: підруч., К.: НАУ, 688 с., 2012.
15. Система отображения воздушной обстановки и предотвращения столкновений самолетов в воздухе TCAS, ACAS II, Руководство для летчиков, с. 90.
16. Бронирование авиаперевозок в системе. AMADEUS. URL: [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 доступу: травень 2017].
17. Austrian Serbian Tourism Programmes Lesson 7 Amadeus AIR. URL: <https://www.slideshare.net/AngelinaNjegus/lesson-7-amadeus-air>.
18. Л. Александровская, И. Аронов, В. Круглов, Безопасность и надежность технических систем: уч. пос., М.: Логос, 376 с., 2008.
19. Анализ видов, последствий критичности отказов: метод. матер. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 21 с., 2005-2011.
20. В. Харченко, Ирадж Эльяси 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.
21. НДР «Инфраструктура», № д.р. 0114U000038д.
22. Т. Елисеева, «Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО», Известия ТулГУ. Технические науки, В. 5, с.182-186, 2013.
23. В. Сидоренко, А. Положенцев, С. Гнатюк, «Метод визначення рівня кібербезпеки галузі критичної інформаційної інфраструктури держави», Вісник інженерної академії України, вип. 42, С. 81- 89, 2017.
24. А. Положенцев, В. Сидоренко, «Метод визначення рівня кібербезпеки галузі критичної інформаційної інфраструктури держави», Матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «ПОЛІТ-2018. Сучасні проблеми науки», К., 4-6 квітня 2018 р., с. 10-13, 2018.
25. National Cyber Security Index. URL: <http://ncsi.ega.ee/ncsi-index/>.
26. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн, «Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание», М.: ООО «И. Д. Вильямс», 1328 с., 2013.
27. The Networked Readiness Index 2016. URL:[http://www3.weforum.org/docs/GITR/2014/GITR\\_OverallRanking\\_2016](http://www3.weforum.org/docs/GITR/2014/GITR_OverallRanking_2016).

## ВИСНОВКИ

Результатом виконаної дисертаційної роботи є розв'язання актуальної та важливої науково-технічної задачі розроблення методів ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі.

У процесі виконання дисертаційної роботи отримані такі наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасних підходів до ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ держави, у результаті чого встановлено, що на сьогодні в Україні відсутній вичерпний перелік об'єктів КІІ та дієві механізми його формування. Також визначено, що відомі підходи до ідентифікації об'єктів КІ орієнтовані, як правило, на економічні, екологічні, техногенні та інші домени безпеки держави та не враховують особливостей КІІ. Існуючі методи визначення рівня критичності не є формалізованими, а методи оцінювання рівня КБ мають низку недоліків, серед яких, відсутність обґрунтування та чіткого кількісного визначення метрик КБ. Проведений аналіз дозволив формалізувати завдання дисертаційного дослідження щодо розробки і вдосконалення методів ідентифікації та оцінювання стану КБ об'єктів КІІ авіаційної галузі.

2. Розроблено уніфіковану модель даних, яка дозволяє формалізувати процес формування переліку об'єктів КІІ держави та визначати їх зв'язність. Також, створено методику, за допомогою якої сформовано перелік об'єктів КІІ авіаційної галузі, у результаті чого (при рівні деталізації  $l = 4$ ) виділено 3 множини категорій, 17 множин систем, 97 множин підсистем, 125 підсистем КАІС. Крім того, використовуючи зазначений перелік, визначено зв'язність КАІС  $Q_Y = \{1,1,1,2,2,5,1,1,1,1,1\}$  та КЗ  $Q_X = \{1,1,1,2,2,1,1,1,1,3,1,1,1\}$ , що свідчить про можливість каскадного ефекту КЗ у процесі їх впливу на КАІС. Зазначені результати можуть бути використані відповідними державними органами для формування переліку об'єктів КІІ з метою застосування адекватних методів і засобів захисту.

3. Розроблено метод ідентифікації, який дає можливість визначати (ідентифікувати) елементи галузі КІІ, їх взаємовплив та вплив на функціональні операції КАІС. Також, розроблено і впроваджено спеціальний програмний застосунок, який можна використовувати для ідентифікації елементів КІІ та визначення їх впливу на функціональні операції, як в авіаційній, так і в інших галузях КІ держави.

4. Удосконалено метод визначення рівня важливості, який дозволяє оцінювати критичність об'єктів КІІ авіаційної галузі як за кількісними, так і за якісними параметрами, а також ранжувати їх для адекватного застосування коригувальних заходів. На основі цього методу створено відповідну методику визначення рівня важливості об'єктів КІІ, яка дає змогу кількісно оцінювати рівень важливості КАІС різних категорій та їх компонентів.

5. Розроблено метод оцінювання рівня КБ, який дає можливість розрахувати кількісні параметри, що характеризують захищеність певної галузі чи КІІ держави в цілому. У результаті проведеного експериментального дослідження встановлено, що для вітчизняної авіаційної галузі, як складової КІ держави, рівень КБ становить 7% (при значенні індексів: КБ – 62,5%, ІКТ – 55,5%).

6. На основі запропонованої методики з використанням розробленого спеціалізованого програмного застосунку, проведено експериментальне дослідження і верифіковано отримані у роботі методи та модель. Результати дисертації впроваджені і використовуються у діяльності ТОВ «Аксонсофт» (акт від 17.04.2018), ДержНДІ Спецзв'язку (акт від 07.02.2017), ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (акт від 11.04.2017), а також у навчальному процесі кафедри безпеки інформаційних технологій НАУ (акт від 15.12.2017) для підвищення ефективності підготовки фахівців з КБ.

**Додаток А. Документи, що підтверджують впровадження  
результатів дисертації**



Товариство з обмеженою відповідальністю  
«АКССОНСОФТ»  
03115, Україна, м. Київ, вул. Львівська, буд. 22-А, офіс - 145  
Код ЄДРПОУ-38507216, тел. +380444821991/факс. +380444093034  
ПІП 26009394373 в АТ «РАЙФФАЙЗЕН БАНК АВА.П» м. Київ,  
МФО – 380805, <http://www.axxonsoft.com>

17.04.2018 вих. № 20180417/01

**АКТ**

впровадження результатів дисертаційної роботи

**Сидоренко Вікторії Миколаївни**

«Методи ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Результати наукового дослідження впроваджені у діяльність компанії «АКССОНСОФТ», а саме метод визначення рівня кібербезпеки, який за рахунок представлення множин метрик кібербезпеки і метрик розвитку та впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у вигляді зв'язаних списків, а також обчислення індексу кібербезпеки та відповідних метрик, дає можливість розрахувати кількісні параметри, які характеризують захищеність певної галузі чи критичної інформаційної інфраструктури держави в цілому.

Директор компанії «АКССОНСОФТ»



**О.В. Курінний**



"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Т.в.о. начальника Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації

С.Є. Гнатюк

"07" лютого 2017 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

наукових результатів

асистента кафедри безпеки інформаційних технологій

Національного авіаційного університету

**СИДОРЕНКО Вікторії Миколаївни**

Комісія у складі голови комісії Юдіна Олексія Юрійовича та членів комісії у складі: Гончара Сергія Феодосійовича та Паламарчука Андрія Андрійовича встановила, що наступні результати досліджень Сидоренко В.М. реалізовані в Державному науково-дослідному інституті спеціального зв'язку та захисту інформації:

1. Результати наукових досліджень, отриманих під час розробки методів і засобів ідентифікації та визначення рівня критичності різних категорій критичних авіаційних інформаційних систем, що враховують недоліки існуючих підходів і дають можливість, зокрема, визначати рівень важливості і ранжувати зазначені системи як за кількісними, так і за якісними параметрами. Зазначені результати є корисними і важливими у контексті формування критичної інфраструктури України, зокрема для формування вичерпного переліку критичних авіаційних інформаційних систем.

Вказані результати було використано в ході виконання дослідно-конструкторської роботи, шифр "Інфраструктура", № держреєстрації 0114U000038д. Впровадження даних результатів дозволило забезпечити підвищення ефективності функціонування систем спеціального зв'язку в Україні.

Роботи виконувались на підставі договору про наукове співробітництво між Державним науково-дослідним інститутом спеціального зв'язку та захисту інформації №7/16СД від 20.07.2016 року.

Даний акт не є підставою для проведення взаємних фінансових взаєморозрахунків.

Голова комісії  
начальник науково-дослідного центру  
ДержНДІ Спецзв'язку  
"7" лютого 2017 р.

Юдін О.Ю.

Члени комісії:  
заступник начальника науково-дослідного центру  
ДержНДІ Спецзв'язку,  
к.т.н.  
"7" лютого 2017 р.

Гончар С.Ф.

Головний науковий співробітник науково-дослідного центру  
ДержНДІ Спецзв'язку,  
к.т.н.  
"7" лютого 2017 р.

Паламарчук А.А.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директору Інституту проблем моделювання  
в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України  
Д. С. Пухова  
В.В. Мохор



АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
**Сидоренко Вікторії Миколаївни**  
в науково-дослідній роботі

Комісія у складі голови комісії к.т.н., доцента Душеби В.В. та членів комісії к.т.н., с.н.с. Гільгурта С.Я. та інженера Поповой В.М. цим Актом засвідчує, що в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України при виконанні науково-дослідної роботи «Дослідження та розробка методів оцінювання захищеності інформації в розподілених високопродуктивних інформаційних системах при вирішенні задач енергетики», шифр «МОД-Д» (д/р 0114U002361), впроваджено результати дисертаційного дослідження Сидоренко Вікторії Миколаївни, а саме метод визначення рівня важливості об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави в галузі цивільної авіації, який відрізняється від відомих тим, що за рахунок введення базової множини систем (критичних авіаційних інформаційних систем) та відповідних множин підсистем, компонентів, функцій, порушень безперервності роботи (переривання роботи, втрати функціональності), їх ознак і наслідків, а також побудови тривимірної матриці критичності, діаграми Парето, причинно-наслідкової діаграми Ісікави та розрахунку додаткових вагових коефіцієнтів критичності, дає можливість більш точно проводити оцінювання рівня важливості і ранжувати критичні авіаційні інформаційні системи.

Голова комісії:

к.т.н., доцент

В.В. Душеба

Члени комісії:

к.т.н., с.н.с.

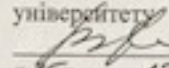
С.Я. Гільгурт

інженер

В.М. Попова

11 квітня 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи  
Національного авіаційного  
університету  
В. Харченко  
« 15 » 12 2017 р.

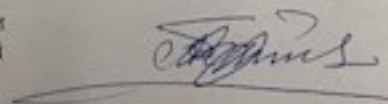
## АКТ

впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи Сидоренко Вікторії Миколаївни «Методи ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури авіаційної галузі» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Комісія у складі: голова – завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій (БІТ) Корченко О.Г., доцент кафедри БІТ Гнатюк С.О., доцент кафедри БІТ Щербина В.П. склали даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Сидоренко Вікторії Миколаївни впровадженні у навчальний процес та використовуються на кафедрі БІТ у 2017-2018 навчальному році при викладанні дисципліни «Інформаційна безпека держави».

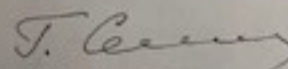
№ з/п	Назва роботи, що впроваджується	Форма впровадження	Ефективність від впровадження
1	2	3	
1.	Класифікація сучасних підходів до ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави.	Лекція	Ознайомлення студентів з сучасними підходами до ідентифікації та оцінювання стану кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури держави.
2.	Формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури певної галузі, визначення їх важливості та захищеності.	Практичне заняття	Ознайомлення студентів з методикою формування переліку об'єктів критичної інформаційної інфраструктури певної галузі та методами визначення їх важливості та захищеності.

Голова комісії,

завідувач кафедри безпеки  
інформаційних технологій

О. Корченко

Члени комісії:

доцент кафедри безпеки  
інформаційних технологій

С. Гнатюк

доцент кафедри безпеки  
інформаційних технологій

В. Щербина

## Додаток Б. Лістинги (код) програмного за стосунку

/// Общие процедуры

Процедура ПанельЕтапиПриСменеСтраницы(Элемент, ТекущаяСтраница)

Если Элемент.ТекущаяСтраница.Имя = "Етап3" Тогда

КількістьЧинниківВпливу = ЧинникиВпливу.Количество();

Инд = 0;

Пока Инд < 10 Цикл

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["ЧинникВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["ЧинникВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["СтупіньПошкодженняЕле  
мента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["СтупіньПошкодженняЕле  
мента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["ВагаВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Колонки["ВагаВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["ЧинникВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["ЧинникВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["СтупіньПошкодженняЕле  
мента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["СтупіньПошкодженняЕле  
мента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["ВагаВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Видимость = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Колонки["ВагаВпливу" +  
Формат(Инд+1, "ЧГ=")].Доступность = (Инд < КількістьЧинниківВпливу);

Инд = Инд + 1;

КонецЦикла;

КонецЕсли;

КонецПроцедуры

/// Этап 1.1

Процедура КоманднаяПанельТаблицаЭкспертівЗаповнити(Кнопка)

ТаблицаЭкспертів.Очистить();

ЭлементыИнфраструктуры.Очистить();

МатрицаИнфраструктуры.Очистить();

УнікальніЭлементыИнфраструктуры.Очистить();

УзгодженіЭлементыИнфраструктуры.Очистить();

Если ЗначениеЗаполнено(КількістьЭкспертів) Тогда

Инд = 0;

```

Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл
    НоваяСтрока = ТаблицаЕкспертів.Добавить();
    НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;
    Инд = Инд + 1;
КонецЦикла;
КонецЕсли;
КонецПроцедуры

/// Этап 1.1
Процедура КоманднаяПанельМатрицаИнфраструктуриЗаполнить(Кнопка)
    МатрицаИнфраструктури.Очистить();
    УнікальніЕлементиИнфраструктури.Очистить();
    УзгодженіЕлементиИнфраструктури.Очистить();
    Если ЗначениеЗаполнено(КількістьЕкспертів) Тогда
        Инд = 0;
        Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл
            НоваяСтрока = МатрицаИнфраструктури.Добавить();
            НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;
            МассивПоиска = ЕлементиИнфраструктури.НайтиСтроки(Новый
Структура("ИндексЭксперта", НоваяСтрока.ИндексЭксперта));
            Инд2 = 0;
            Пока Инд2 < МассивПоиска.Количество() Цикл
                НоваяСтрока["Элемент" + Формат(Инд2+1, "ЧГ=")] =
МассивПоиска[Инд2].ЭлементИнфраструктури;
                Инд2 = Инд2 + 1;
            КонецЦикла;
            Инд = Инд + 1;
        КонецЦикла;
    КонецЕсли;
КонецПроцедуры

/// Этап 1.2
Процедура КоманднаяПанель1Заполнить(Кнопка)
    УнікальніЕлементиИнфраструктури.Очистить();
    УзгодженіЕлементиИнфраструктури.Очистить();
    ТзКопия = ЕлементиИнфраструктури.Выгрузить();
    ТзКопия.Колонки.Добавить("КількістьВходжень");
    ТзКопия.ЗаполнитьЗначения(1, "КількістьВходжень");
    ТзКопия.Свернуть("ЭлементИнфраструктури", "КількістьВходжень");
    Для Каждого СтрокаКопия Из ТзКопия Цикл
        НоваяСтрока = УнікальніЕлементиИнфраструктури.Добавить();
        ЗаполнитьЗначенияСвойств(НоваяСтрока, СтрокаКопия);
    КонецЦикла;
КонецПроцедуры

/// Этап 1.3
Процедура КоманднаяПанельУзгодженіЕлементиИнфраструктуриЗаполнить(Кнопка)

```

```

УзгодженіЕлементиІнфраструктури.Очистить();
Норма = КількістьЕкспертів / 2;
Для Каждого Строка Из УнікальніЕлементиІнфраструктури Цикл
    Если Строка.КількістьВходжень > Норма Тогда
        НоваяСтрока = УзгодженіЕлементиІнфраструктури.Добавить();
        ЗаполнитьЗначенияСвойств(НоваяСтрока, Строка);
    КонецЕсли;
КонецЦикла;
КонецПроцедуры

/// Этап 3.1
Процедура КоманднаяПанельСтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертівЗаполнить(Кнопка)
    СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Очистить();
    СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Очистить();
    Инд = 0;
    Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл
        Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл
            НоваяСтрока = СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.Добавить();
            НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;
            НоваяСтрока.ЭлементІнфраструктури =
СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЭлементІнфраструктури;
            НоваяСтрока.ВагаВпливуВсього = 0;
            Инд2 = 0;
            Пока Инд2 < ЧинникиВпливу.Количество() Цикл
                Если Инд2 >= 10 Тогда
                    Прервать;
                КонецЕсли;
                НоваяСтрока["ЧинникВпливу" + Формат(Инд2+1, "ЧГ=")]
= ЧинникиВпливу[Инд2].ЧинникВпливу;
                НоваяСтрока["СтупіньПошкодженняЭлемента" + Формат(Инд2+1, "ЧГ=")] =
ПолучитьЗначениеПоУмолчанию3Этап(СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.НомерСтроки, Инд2+1,
"СтупіньПошкодженняЭлемента");
                НоваяСтрока["ВагаВпливу" + Формат(Инд2+1, "ЧГ=")]
= ПолучитьЗначениеПоУмолчанию3Этап(СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.НомерСтроки,
Инд2+1, "ВагаВпливу");
                Инд2 = Инд2 + 1;
            КонецЦикла;
            ПерерахуватиВагиВпливуДляРядка(НоваяСтрока);
        КонецЦикла;
        Инд = Инд + 1;
    КонецЦикла;
КонецПроцедуры

/// Этап 3.1
Процедура СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертівПриОкончанииРедактирования(Элемент,
НоваяСтрока, ОтменаРедактирования)
    ТекСтрока = ЭлементыФормы.СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.ТекущиеДанные;

```

```

    ПерерахуватиВагиВпливуДляРядка(ТекСтрока);
КонецПроцедуры

/// Этап 3.2
Процедура КоманднаяПанельСтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальнаЗаполнить(Кнопка)
    СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Очистить();
    Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл
        НоваяСтрока = СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.Добавить();
        НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури =
СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури;
        Инд = 0;
        Пока Инд < ЧинникиВпливу.Количество() Цикл
            Если Инд >= 10 Тогда
                Прервать;
            КонецЕсли;
            СуммаСтупіньПошкодженняЕлемента = 0;
            СуммаВагаВпливу = 0;
            МассивПоиска =
СтупеніПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЕкспертів.НайтиСтроки(Новый Структура("ЕлементІнфраструктури,
ЧинникВпливу" + Формат(Инд+1, "ЧГ="), СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури,
ЧинникиВпливу[Инд].ЧинникВпливу));
            Для Каждого СтрокаПоиска Из МассивПоиска Цикл
                СтупіньПошкодженняЕлемента = 0;
                Если СтрокаПоиска["СтупіньПошкодженняЕлемента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")] =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.MiddleDamage Тогда
                    СтупіньПошкодженняЕлемента = 1;
                ИначеЕсли СтрокаПоиска["СтупіньПошкодженняЕлемента" + Формат(Инд+1,
"ЧГ=")] = Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.CompleteFailure Тогда
                    СтупіньПошкодженняЕлемента = 2;
                КонецЕсли;
                ВагаВпливу = СтрокаПоиска["ВагаВпливу" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")];

                СуммаСтупіньПошкодженняЕлемента = СуммаСтупіньПошкодженняЕлемента +
СтупіньПошкодженняЕлемента;
                СуммаВагаВпливу = СуммаВагаВпливу +
ВагаВпливу;
            КонецЦикла;
            СреднееСтупіньПошкодженняЕлемента = ?(МассивПоиска.Количество() = 0, 0,
СуммаСтупіньПошкодженняЕлемента / МассивПоиска.Количество());
            СреднееВагаВпливу =
?(МассивПоиска.Количество() = 0, 0, СуммаВагаВпливу / МассивПоиска.Количество());
            СтупіньПошкодженняЕлементаNew =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.DamageAbsent;
            Если Этап3Г1 <= СреднееСтупіньПошкодженняЕлемента Тогда
                СтупіньПошкодженняЕлементаNew =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.CompleteFailure;

```

```

        ИначеЕсли ( Этап3Т0 <= СреднееСтепіньПошкодженняЕлемента ) И (
СреднееСтепіньПошкодженняЕлемента < Этап3Т1 ) Тогда
            СтепіньПошкодженняЕлементаNew =
Перечисления.СтепіньПошкодженняЕлементаІнфраструктури.MiddleDamage;
            КонецЕсли;
            НоваяСтрока["ЧинникВпливу" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")]
= ЧинникиВпливу[Инд].ЧинникВпливу;
            НоваяСтрока["СтепіньПошкодженняЕлемента" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")] =
СтепіньПошкодженняЕлементаNew;
            НоваяСтрока["ВагаВпливу" + Формат(Инд+1, "ЧГ=")] =
СреднееВагаВпливу;
            Инд = Инд + 1;
            КонецЦикла;
            ПерерахуватиВагиВпливуДляРядка(НоваяСтрока);
        КонецЦикла;
    КонецПроцедуры

```

/// Этап 3.2

```

Процедура СтепіньПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальнаПередОкончаниемРедактирования(Элемент,
НоваяСтрока, ОтменаРедактирования, Отказ)
    ТекСтрока = ЭлементыФормы.СтепіньПошкодженняТаВагиВпливуЧинниківЗагальна.ТекущиеДанные;
    ПерерахуватиВагиВпливуДляРядка(ТекСтрока);
КонецПроцедуры

```

/// Этап 3.1 - 3.2

```

Процедура ПерерахуватиВагиВпливуДляРядка(ТекСтрока)
    Если ТекСтрока = Неопределено Тогда
        Возврат;
    КонецЕсли;
    ТекСтрока.ВагаВпливуВсього = 0;
    Инд = 0;
    Пока Инд < 10 Цикл
        ТекСтрока.ВагаВпливуВсього = ТекСтрока.ВагаВпливуВсього + ТекСтрока["ВагаВпливу" +
Формат(Инд+1, "ЧГ=")];
        Инд = Инд + 1;
    КонецЦикла;
КонецПроцедуры

```

/// Этап 4.1

```

Процедура КоманднаяПанельВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиПоЕкспертамЗаповнити(Кнопка)
    ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиПоЕкспертам.Очистить();
    ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальна.Очистить();
    ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертам.Очистить();
    ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальна.Очистить();
    Инд = 0;
    Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл

```



Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1 Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури

Цикл

Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2 Из

УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл

Если СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1.ЕлементІнфраструктури =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2.ЕлементІнфраструктури Тогда

Продолжить;

КонецЕсли;

НоваяСтрока =

ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиПоЕкспертам.Добавить();

НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;

НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури1 =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1.ЕлементІнфраструктури;

НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури2 =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2.ЕлементІнфраструктури;

НоваяСтрока.Значення = Неопределено;

КонецЦикла;

КонецЦикла;

Инд = Инд + 1;

КонецЦикла;

КонецПроцедуры

/// Этап 4.1

Процедура КоманднаяПанельВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальнаЗаповнити(Кнопка)

ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальна.Очистить();

ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертам.Очистить();

ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальна.Очистить();

Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1 Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл

Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2 Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури

Цикл

Если СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1.ЕлементІнфраструктури =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2.ЕлементІнфраструктури Тогда

Продолжить;

КонецЕсли;

МассивПоиска =

ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиПоЕкспертам.НайтиСтроки(Новый Структура("ЕлементІнфраструктури1,

ЕлементІнфраструктури2, Значення", СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1.ЕлементІнфраструктури,

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2.ЕлементІнфраструктури,

Перечисления.ЗначенняВідношеньВпливуМіжЕлементами.Плюс));

НоваяСтрока = ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальна.Добавить();

НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури1 =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури1.ЕлементІнфраструктури;

НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури2 =

СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури2.ЕлементІнфраструктури;

НоваяСтрока.КількістьПлюсів = МассивПоиска.Количество();

НоваяСтрока.УзгодженаОцінка = ?(НоваяСтрока.КількістьПлюсів >  
 КількістьЕкспертів \* Этап4В, Перечисления.ЗначенняВідношеньВпливуМіжЕлементами.Плюс,  
 Перечисления.ЗначенняВідношеньВпливуМіжЕлементами.Минус);  
 КонецЦикла;  
 КонецЦикла;  
 КонецПроцедуры

/// Этап 4.2

Процедура КоманднаяПанельВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертамЗаповнити(Кнопка)  
 ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертам.Очистить();  
 ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальна.Очистить();  
 Инд = 0;  
 Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл  
     МассивПоиска = ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальна.НайтиСтроки(Новый  
 Структура("УзгодженаОцінка", Перечисления.ЗначенняВідношеньВпливуМіжЕлементами.Плюс));  
     Для Каждого СтрокаПоиска Из МассивПоиска Цикл  
         НоваяСтрока =  
 ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертам.Добавить());  
         НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;  
         НоваяСтрока.ЭлементИнфструктури1 = СтрокаПоиска.ЭлементИнфструктури1;  
         НоваяСтрока.ЭлементИнфструктури2 = СтрокаПоиска.ЭлементИнфструктури2;  
         НоваяСтрока.СтепеньПошкодження1 =  
 Перечисления.СтепениПошкодженняЭлементаИнфраструктури.MiddleDamage;  
         НоваяСтрока.ЗначенняПошкодження1 = 0;  
         НоваяСтрока.СтепеньПошкодження2 =  
 Перечисления.СтепениПошкодженняЭлементаИнфраструктури.CompleteFailure;  
         НоваяСтрока.ЗначенняПошкодження2 = 0;  
         КонецЦикла;  
         Инд = Инд + 1;  
     КонецЦикла;  
 КонецПроцедуры

/// Этап 4.2

Процедура КоманднаяПанельВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальнаЗаповнити(Кнопка)  
 ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальна.Очистить();  
 МассивПоиска = ВизначенняВідношеньВпливуМіжЕлементамиЗагальна.НайтиСтроки(Новый  
 Структура("УзгодженаОцінка", Перечисления.ЗначенняВідношеньВпливуМіжЕлементами.Плюс));  
 Для Каждого СтрокаПоиска Из МассивПоиска Цикл  
     СуммаЗначенняПошкодження1 = 0;  
     СуммаЗначенняПошкодження2 = 0;  
     МассивПоиска2 =  
 ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівПоЕкспертам.НайтиСтроки(Новый  
 Структура("ЭлементИнфструктури1, ЭлементИнфструктури2", СтрокаПоиска.ЭлементИнфструктури1,  
 СтрокаПоиска.ЭлементИнфструктури2));  
     Для Каждого СтрокаПоиска2 Из МассивПоиска2 Цикл  
         СуммаЗначенняПошкодження1 = СуммаЗначенняПошкодження1 +  
 СтрокаПоиска2.ЗначенняПошкодження1;

СуммаЗначенняПошкодження2 = СуммаЗначенняПошкодження2 +  
 СтрокаПоиска2.ЗначенняПошкодження2;  
 КонецЦикла;  
 СреднееЗначенняПошкодження1 = ?(КількістьЕкспертів = 0, 0, СуммаЗначенняПошкодження1 /  
 КількістьЕкспертів);  
 СреднееЗначенняПошкодження2 = ?(КількістьЕкспертів = 0, 0, СуммаЗначенняПошкодження2 /  
 КількістьЕкспертів);  
 НоваяСтрока = ВизначенняФункційВзаємовпливуМіжПарамиЕлементівЗагальна.Добавить();  
 НоваяСтрока.ЭлементИнфраструктури1 = СтрокаПоиска.ЭлементИнфраструктури1;  
 НоваяСтрока.ЭлементИнфраструктури2 = СтрокаПоиска.ЭлементИнфраструктури2;  
 НоваяСтрока.СтепеньПошкодження1 =  
 Перечисления.СтепеньПошкодженняЭлементаИнфраструктури.MiddleDamage;  
 НоваяСтрока.УзгодженаОцінка1 = ?(СреднееЗначенняПошкодження1 > Этап4Н, 2, 1);  
 НоваяСтрока.СтепеньПошкодження2 =  
 Перечисления.СтепеньПошкодженняЭлементаИнфраструктури.CompleteFailure;  
 НоваяСтрока.УзгодженаОцінка2 = ?(СреднееЗначенняПошкодження2 > Этап4Н, 2, 1);  
 КонецЦикла;  
 КонецПроцедуры

/// Этап 5

Процедура КоманднаяПанельФункциональныеОперацииЗаполнить(Кнопка)  
 ФункциональныеОперации.Очистить();  
 Для Каждого СтрокаУзгодженыеЭлементыИнфраструктуры Из УзгодженыеЭлементыИнфраструктуры Цикл  
 НоваяСтрока = ФункциональныеОперации.Добавить();  
 НоваяСтрока.ЭлементИнфраструктуры =  
 СтрокаУзгодженыеЭлементыИнфраструктуры.ЭлементИнфраструктуры;  
 НоваяСтрока.ФункциональнаяОперация = Неопределено;  
 НоваяСтрока.Вход = Неопределено;  
 НоваяСтрока.Выход = Неопределено;  
 КонецЦикла;  
 КонецПроцедуры

/// Этап 6.1

Процедура КоманднаяПанельМатрицаВлиянияЭлементовНаФункциональныеОперацииПоЭкспертноЗаполнить(Кнопка)  
 МатрицаВлиянияЭлементовНаФункциональныеОперацииПоЭкспертно.Очистить();  
 МатрицаВлиянияЭлементовНаФункциональныеОперацииЗагальна.Очистить();  
 VEI.Очистить();  
 Инд = 0;  
 Пока Инд < КількістьЕкспертів Цикл  
 Для Каждого СтрокаУзгодженыеЭлементыИнфраструктуры Из УзгодженыеЭлементыИнфраструктуры Цикл  
 Для Каждого СтрокаФункциональныеОперации Из ФункциональныеОперации Цикл  
 НоваяСтрока =  
 МатрицаВлиянияЭлементовНаФункциональныеОперацииПоЭкспертно.Добавить();  
 НоваяСтрока.ИндексЭксперта = Инд + 1;  
 НоваяСтрока.ЭлементИнфраструктуры =  
 СтрокаУзгодженыеЭлементыИнфраструктуры.ЭлементИнфраструктуры;

```

        НоваяСтрока.ФункціональнаОперація =
СтрокаФункціональніОперації.ФункціональнаОперація;
        НоваяСтрока.СтупіньПошкодження0 =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.DamageAbsent;
        НоваяСтрока.ЗначенняЯкості0 =
ПолучитьЗначениеПоУмолчанию6Этап(СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.НомерСтроки,
СтрокаФункціональніОперації.НомерСтроки, "СтупіньПошкодження0");
        НоваяСтрока.СтупіньПошкодження1 =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.MiddleDamage;
        НоваяСтрока.ЗначенняЯкості1 =
ПолучитьЗначениеПоУмолчанию6Этап(СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.НомерСтроки,
СтрокаФункціональніОперації.НомерСтроки, "СтупіньПошкодження1");
        НоваяСтрока.СтупіньПошкодження2 =
Перечисления.СтупеніПошкодженняЕлементаІнфраструктури.CompleteFailure;
        НоваяСтрока.ЗначенняЯкості2 =
ПолучитьЗначениеПоУмолчанию6Этап(СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.НомерСтроки,
СтрокаФункціональніОперації.НомерСтроки, "СтупіньПошкодження2");
        КонецЦикла;
        КонецЦикла;
        Инд = Инд + 1;
        КонецЦикла;
КонецПроцедуры

```

/// Этап 6.2

```

Процедура КоманднаяПанельМатрицаВливуЕлементівНаФункціональніОпераціїЗагальнаЗаповнити(Кнопка)
    МатрицаВливуЕлементівНаФункціональніОпераціїЗагальна.Очистить();
    VEI.Очистить();
    Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл
        Для Каждого СтрокаФункціональніОперації Из ФункціональніОперації Цикл
            СуммаСтупіньПошкодження0 = 0;
            СуммаСтупіньПошкодження1 = 0;
            СуммаСтупіньПошкодження2 = 0;
            МассивПоиска =
МатрицаВливуЕлементівНаФункціональніОпераціїПоЕкспертно.НайтиСтроки(Новый
Структура("ЕлементІнфраструктури, ФункціональнаОперація",
СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури,
СтрокаФункціональніОперації.ФункціональнаОперація));
            Для Каждого СтрокаПоиска Из МассивПоиска Цикл
                СтупіньПошкодження0 = 0;
                Если СтрокаПоиска.ЗначенняЯкості0 =
Перечисления.ЗначенняЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда
                    СтупіньПошкодження0 = 1;
                ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенняЯкості0 =
Перечисления.ЗначенняЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
                    СтупіньПошкодження0 = 2;
                КонецЕсли;
                СтупіньПошкодження1 = 0;

```

```

        Если СтрокаПоиска.ЗначенияЯкости1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда
            СтупіньПошкодження1 = 1;
        ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенияЯкости1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
            СтупіньПошкодження1 = 2;
        КонецЕсли;
        СтупіньПошкодження2 = 0;
        Если СтрокаПоиска.ЗначенияЯкости2 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда
            СтупіньПошкодження2 = 1;
        ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенияЯкости2 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
            СтупіньПошкодження2 = 2;
        КонецЕсли;
        СуммаСтупіньПошкодження0 = СуммаСтупіньПошкодження0 +
СтупіньПошкодження0;
        СуммаСтупіньПошкодження1 = СуммаСтупіньПошкодження1 +
СтупіньПошкодження1;
        СуммаСтупіньПошкодження2 = СуммаСтупіньПошкодження2 +
СтупіньПошкодження2;
        КонецЦикла;
        СреднееСтупіньПошкодження0 = ?(МассивПоиска.Количество() = 0, 0,
СуммаСтупіньПошкодження0 / МассивПоиска.Количество());
        СреднееСтупіньПошкодження1 = ?(МассивПоиска.Количество() = 0, 0,
СуммаСтупіньПошкодження1 / МассивПоиска.Количество());
        СреднееСтупіньПошкодження2 = ?(МассивПоиска.Количество() = 0, 0,
СуммаСтупіньПошкодження2 / МассивПоиска.Количество());
        ЗначенияПошкодження0 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Normal;
        Если Этап6S1 <= СреднееСтупіньПошкодження0 Тогда
            ЗначенияПошкодження0 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption;
        ИначеЕсли ( Этап6S0 <= СреднееСтупіньПошкодження0 ) И (
СреднееСтупіньПошкодження0 < Этап6S1 ) Тогда
            ЗначенияПошкодження0 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation;
        КонецЕсли;
        ЗначенияПошкодження1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Normal;
        Если Этап6S1 <= СреднееСтупіньПошкодження1 Тогда
            ЗначенияПошкодження1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption;
        ИначеЕсли ( Этап6S0 <= СреднееСтупіньПошкодження1 ) И (
СреднееСтупіньПошкодження1 < Этап6S1 ) Тогда
            ЗначенияПошкодження1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостиВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation;

```

```

        КонецЕсли;
        ЗначенияПошкождения2 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Normal;
        Если Этап6S1 <= СреднееСтепіньПошкодження2 Тогда
            ЗначенияПошкодження2 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption;
        ИначеЕсли ( Этап6S0 <= СреднееСтепіньПошкодження2 ) И (
СреднееСтепіньПошкодження2 < Этап6S1 ) Тогда
            ЗначенияПошкодження2 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation;
        КонецЕсли;
        НоваяСтрока = МатрицаВпливуЕлементівНаФункціональніОпераціїЗагальна.Добавить();
        НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури =
СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури;
        НоваяСтрока.ФункціональнаяОперація =
СтрокаФункціональніОперації.ФункціональнаяОперація;
        НоваяСтрока.СтепіньПошкодження0 =
Перечисления.СтепініПошкодженняЕлементаІнфраструктури.DamageAbsent;
        НоваяСтрока.ЗначенияЯкості0 = ЗначенияПошкодження0;
        НоваяСтрока.СтепіньПошкодження1 =
Перечисления.СтепініПошкодженняЕлементаІнфраструктури.MiddleDamage;
        НоваяСтрока.ЗначенияЯкості1 = ЗначенияПошкодження1;
        НоваяСтрока.СтепіньПошкодження2 =
Перечисления.СтепініПошкодженняЕлементаІнфраструктури.CompleteFailure;
        НоваяСтрока.ЗначенияЯкості2 = ЗначенияПошкодження2;
        КонецЦикла;
    КонецЦикла;
КонецПроцедуры

/// Этап 6.3
Процедура КоманднаяПанельVEIЗаповнити(Кнопка)
    Для Каждого СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури Из УзгодженіЕлементиІнфраструктури Цикл
        СуммаЗначеньЯкості = 0;
        МассивПоиска = МатрицаВпливуЕлементівНаФункціональніОпераціїЗагальна.НайтиСтроки(Новый
Структура("ЕлементІнфраструктури", СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури));
        Для Каждого СтрокаПоиска Из МассивПоиска Цикл
            ЗначеньЯкості0 = 0;
            Если СтрокаПоиска.ЗначенияЯкості0 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда
                ЗначеньЯкості0 = 1;
            ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенияЯкості0 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
                ЗначеньЯкості0 = 2;
            КонецЕсли;
            ЗначеньЯкості1 = 0;
            Если СтрокаПоиска.ЗначенияЯкості1 =
Перечисления.ЗначенияЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда

```

```

        ЗначеньЯкості1 = 1;
        ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенняЯкості1 =
Перечисления.ЗначенняЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
        ЗначеньЯкості1 = 2;
        КонецЕсли;
        ЗначеньЯкості2 = 0;
        Если СтрокаПоиска.ЗначенняЯкості2 =
Перечисления.ЗначенняЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Deviation Тогда
        ЗначеньЯкості2 = 1;
        ИначеЕсли СтрокаПоиска.ЗначенняЯкості2 =
Перечисления.ЗначенняЯкостіВиконанняФункціональнихОперацій.Interruption Тогда
        ЗначеньЯкості2 = 2;
        КонецЕсли;
        СуммаЗначеньЯкості = СуммаЗначеньЯкості + ЗначеньЯкості0 + ЗначеньЯкості1 +
ЗначеньЯкості2;
        КонецЦикла;
        НоваяСтрока = VEI.Добавить();
        НоваяСтрока.ЕлементІнфраструктури =
СтрокаУзгодженіЕлементиІнфраструктури.ЕлементІнфраструктури;
        НоваяСтрока.СуммаЗначеньЯкості = СуммаЗначеньЯкості;
        КонецЦикла;
        VEI.Сортировать("СуммаЗначеньЯкості Убыв");
КонецПроцедуры

```