

ISSN 2521-6643

# Системи та технології



Системи та технології, № 1 (59), 2020

№ 1 (59)

2020

# Системи та технології

( правонаступник наукового журналу “Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки” )

№ 1 (59)

*Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки”, спеціальності – 113, 122, 123, 275 (наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 р. № 409, додаток 1)*

Дніпро  
Університет митної справи та фінансів  
2020

УДК 62

**Системи та технології**  
**(правонаступник наукового журналу**  
**“Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”**)  
Науковий журнал. Видається двічі на рік. Заснований у травні 1999 р.

Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою  
Університету митної справи та фінансів (протокол № 10 від 24.02.2020 р.)

*Редакційна колегія:*

|  |  |
|--|--|
| <b>Поночовний Ю. Л.</b> – к.т.н., с.н.с.<br><i>(головний редактор);</i>              | <b>Доценко С. І.</b> – д.т.н., доц.;       |
| <b>Іванченко О. В.</b> – к.т.н., доц.<br><i>(заступник головного редактора);</i>     | <b>Дрозд О. В.</b> – д.т.н., проф.;        |
| <b>Кузьменко А. І.</b> – к.т.н., доц.<br><i>(заступник головного редактора);</i>     | <b>Зашолкін К. В.</b> – к.т.н., доц.;      |
| <b>Прокопович-Ткаченко Д. І.</b> – к.т.н.<br><i>(заступник головного редактора);</i> | <b>Змисний М. М.</b> – к.т.н.;             |
| <b>Йозеф Костолни</b> – доц., PhD;   | <b>Кабак Л. В.</b> – к.т.н., доц.;         |
| <b>Ян Рабчан</b> – PhD;  | <b>Колісник М. О.</b> – к.т.н., доц.;      |
| <b>Анджей Клос</b> – д.т.н., проф.;  | <b>Мартинюк О. М.</b> – к.т.н., доц.;      |
| <b>Бондаренко І. О.</b> – д.т.н., доц.;  | <b>Пасічник А. М.</b> – д.ф.-м.н., проф.;  |
| <b>Боярчук А. В.</b> – к.т.н.;   | <b>Фесенко Г. В.</b> – к.т.н., доц.;       |
| <b>Брежнєв Є. В.</b> – д.т.н., с.н.с.;   | <b>Халіпова Н. В.</b> – к.т.н., доц.;      |
| <b>Гордєєв О. О.</b> – к.т.н., доц.;   | <b>Шапорін Р. О.</b> – к.т.н., доц.;       |
|  | <b>Шкілюк О. П.</b> – к.т.н.;              |
|  | <b>Щербовських С. В.</b> – д.т.н., с.н.с.; |
|  | <b>Яремчук С. О.</b> – к.т.н.              |

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020-1-59>  
ISSN 2521-6643

Коректори: Л. І. Малигіна, О. О. Смирнова, І. В. Орищій  
Комп'ютерна верстка: О. О. Іщенко, Т. Г. Пунтус

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 21857-11757ПР від 21.12.2015 р.  
Тираж 300 прим. Замовлення № 38

Адреса редакції та видавця: вул. Володимира Вернадського, 2/4, Дніпро, 49000  
Тел.: (056) 756-05-05. Електронна адреса: [redactor.umsf@gmail.com](mailto:redactor.umsf@gmail.com)  
Інформаційний сайт: <https://st-journal.com/index.php/journal/issue/view/2>

Підписано до друку 26.08.2020. Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 15,00. Обл.-вид. арк. 13,33.

Засновник і видавець: Університет митної справи та фінансів  
(Свідоцтво про видавничу діяльність ДК № 6198 від 24.05.2018 р.)

© Університет митної справи та фінансів, 2020

---

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Smoktii O. D., Smoktii K. V., Kabak L. V.</b> Histopathology test workflow modeling in bounds of laboratory information systems.....                                      | 5   |
| <b>Іванченко О. В.</b> Аналітико-стохастична модель гарантоздатності кібернетичних та хмарних активів системи SCADA критичної інфраструктури.....                            | 14  |
| <b>Фесенко Г. В.</b> Теоретико-множинна модель системи моніторингу потенційно небезпечного об'єкту з використанням багатоцільового флоту безпілотних літальних апаратів..... | 60  |
| <b>Luzhanska N. O., Lebid I. H., Kravchenya I. M.</b> Cluster analysis application in the evaluation of the foreign economic potential of Ukraine`s regions.....             | 92  |
| <b>Гордєєв О. О., Лапшин А. Л.</b> Модель структурно-семантичного представлення та перетворення профілів програмного забезпечення: операція об'єднання .....                 | 104 |
| <b>Пасічник А. М., Медведєв Є. П., Пасічник А. В.</b> Порівняльний аналіз методик оціночного розрахунку чисельності населення України.....                                   | 133 |

---

## CONTENTS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Smoktii O. D., Smoktii K. V., Kabak L. V.</b> Histopathology test workflow modeling in bounds of laboratory information systems.....                           | 5   |
| <b>Ivanchenko O. V.</b> Analytical and stochastic dependability model of cyber and cloud assets for SCADA system of the critical infrastructure.....              | 14  |
| <b>Fesenko H. V.</b> Set-theoretical model of a monitoring system for a potentially dangerous object using a multi-purpose fleet of unmanned aerial vehicles..... | 60  |
| <b>Luzhanska N. O., Lebid I. H., Kravchenya I. M.</b> Cluster analysis application in the evaluation of the foreign economic potential of Ukraine`s regions.....  | 92  |
| <b>Gordieiev O. O., Lapshin A. L.</b> Model of structure-semantic representation and software profiles transformation: operation of combination .....             | 104 |
| <b>Pasichnyk A. N., Medvedev E. P., Pasichnyk A. V.</b> Comparative analysis of methods estimating the population of Ukraine.....                                 | 133 |

**O. D. Smoktii**, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Information Technologies Department, Vasyl' Stus Donetsk National University

**K. V. Smoktii**, PhD in Economics, Associate Professor of the Information Technologies Department, Vasyl' Stus Donetsk National University

**L. V. Kabak**, PhD of Technical Sciences, Associate Professor of the Software providing computer systems, Dnipro University of Technology

## HISTOPATHOLOGY TEST WORKFLOW MODELING IN BOUNDS OF LABORATORY INFORMATION SYSTEMS

*Лабораторна інформаційна система як частина системи обміну інформації є головним елементом електронного обігу клінічних даних та зберігання медичної документації. Наразі лабораторна інформаційна система є основним ресурсом діагностичних даних для лікарів. Розробляючи таку систему для лабораторій, особливо генетичних, часто потрібно задовольняти потреби відділень тестування для діагностики патологій та хірургічних дослідів. Також потрібно враховувати, що лабораторії, що проводять тести для діагностики патологій, працюють з різними біоматеріалами, хірургічними зразками, вилученими з організму, рідин і тканин організму. Під час аналізу патологи використовують обладнання, яке може отримувати та надсилати дані тестування до інформаційної системи.*

*Мета цієї статті - побудувати модель бізнес-процесу тестування в лабораторіях патологічних досліджень у випадку гістопатологічного тестування. Розглянуто випадок використання панельних тестів з гістопатології, включаючи можливість інтеграції з лабораторним устаткуванням (інструментами), та побудовано математичну модель даних загального тестового бізнес-процесу, що використовується для розробки лабораторних інформаційних систем. В роботі наведена вртп-діаграма гістопатологічного тестування в загальному вигляді, а також формалізовано змінні, що описують математичну модель бізнес-процесу, стани системи і перехід з одного в інший. Синтезована модель може бути використана в процесі*

© O. D. Smoktii, K. V. Smoktii, L. V. Kabak, 2020

---

*розробки лабораторних інформаційних систем. До побудованої моделі застосовано кінцевий автомат згідно з машиною Тьюрінга, що проходить можливі стани системи, в яких вона може знаходитися в процесі гістопатологічного тестування.*

*Розроблена в роботі модель дозволяє здійснити попереднє налаштування та адаптацію бізнес-процесу до конкретних лабораторних потреб під час розробки лабораторної системи. Подальшим розвитком цієї моделі може стати синтез оптимізаційної моделі для ефективного використання ресурсів обладнання та реагентів у лабораторіях.*

*Ключові слова: лабораторна інформаційна система, діагностична патологія, бізнес-процес гістопатологічного тестування, модель машини Тьюрінга.*

*Лабораторная информационная система как часть системы обмена информацией является главным элементом электронного обращения клинических данных и хранения медицинской документации. Цель этой статьи - построить модель бизнес-процесса тестирования в лабораториях патологических исследований в случае гистопатологического тестирования. Созданная в этой работе модель может быть использована в процессе разработки лабораторных информационных систем. Дальнейшим развитием этой модели может стать синтез оптимизационной задачи для эффективного использования ресурсов оборудования и реагентов в лабораториях.*

*Ключевые слова: лабораторная информационная система, диагностическая патология, бизнес-процесс гистологического тестирования, модель машины Тьюринга.*

*Laboratory information system (LIS) as a part of information delivery system is a main element in electronic clinical data circulation and medical record storing. The purpose of this article is to build a model of pathology testing workflow in a case of histopathology testing. Created in this paper model could be used in LIS development process. Further development of this model could be integration with the optimization methods to optimize using expensive environments and reagents in laboratories. A state machine is applied to the built model according to the Turing machine, which goes through possible states of the system in which it can be doing histopathological testing process.*

*Keywords: laboratory information system, diagnosis pathology, histology test workflow, Turing machine model*

**The problem formulation.** Laboratory information is a foundation stone of the electronic medical record, representing the majority of the nondemographic,

---

nonfinancial clinical data present in most healthcare institutions' information systems [1]. Laboratory Information Systems (LIS) as a delivery system of laboratory information are widely being developed to meet the specialized needs of medical laboratories for example genetic, pathology and others.

LIS is critical for the functioning of clinical laboratory centers. It is developed for digital performing of tests working with biological specimens collected from patients and storing information about their test results, diseases, diagnosis, prescriptions, and doctors' consultations results. Nowadays, LIS performs as a source of diagnostic data for doctors in all clinics and hospital departments [2].

When designing LIS and preparing it to use in laboratories particularly in genetic ones it might be necessary to meet the needs of diagnosis pathology testing department and surgical researchers. Ordering of pathology tests varies across hospitals and generally increased [6]. Diagnosis pathology as a study of diseases and a group of LIS processes involve examining the cause of illness, how it develops and what effect on cells it makes. A bunch of tests related to anatomical, clinical, or molecular pathology should be included into the LIS digital space. It should also allow to use required instruments and inventories and get the analytical data from them if needed.

**Analysis of recent research and publications.** Testing workflow modeling has been researched and reported in a variety of papers and is being investigating by scientists for now.

Walter H. Henricks [1] examined laboratory information management in the LIS as integrated delivery systems (IDSs), showed different aspects for information system support of integrating operations and reviewed functional requirements for outreach.

Jiraporn Gatedee, Somphon Phraephan and others [2] described the implementation process of LIS at the Medical Technology Clinic. In this paper there was founded the necessity of planning LIS development with concern of separate stages corresponding to specific objectives, time limits, resources and good organized contract. Well trained staff and provision of appropriate corresponding solution by contractor are concluded to be important values in LIS implementation success.

Xuequn Pan and James J. Cimino [3] proposed a method to make outside unspecific laboratory data available for further use based on appropriate codes



---

and standards terms for the LOINC. C. F. Quo, B. Wu, M. D. Wang [4] and Cutting E.M., Overby C.L., Banchemo M. et al. [8] presented workflow models and LISs implemented in university and medical center.

General modeling for laboratory testing has been investigated with the purpose to create a universal framework for LIS. Wendl M.C., Smith S., Pohl C.S. et al. [5] described a general modeling framework for laboratory data and its implementation as LIS. Pardo Ingrid-Durley and Luna, Francisco Jaime and Moreno [7] discovered the semantic model which allowed storing, searching and recovering lab workflows in civil engineering. Tarkan S, Plaisant C et al. [9] presented a workflow and prototype application for laboratory testing, gave ideas how to reduce data missing in LIS.

Statistical methods were used for assessing clinical data of different nature. Li L., Vecellio E., Xiong J., Georgiou A. et al, [6] used diagnosis-related groups (DRG) to examine pathology test volumes and variation between hospitals.

**The purpose of the article.** The purpose of this article is to build a model of pathology testing workflow in a case of histopathology testing. We have studied the case of using histopathology panel tests including the possibility of integration with instruments and have built a mathematical data model of a common test workflow to be used in LIS development.

Created in this paper workflow could be treated as a case of abstract workflow in a common architecture of the LIS functional model [7].

**The main material representation.** Diagnosis pathology laboratory business process consists of four main stages: Ordering, Specimen Processing, Resulting, Reporting. We considered a case of surgical histopathology testing process every stage of which has specific list of actions made by different laboratory specialists (figure 1).

Ordering (block 1 on figure 1) is a process of patient identification (create or find existing patient in a database, block 1.1 on figure 1), visit creation (block 1.2 on figure 1) and order creation (block 1.3 on figure 1). All these instances have a unique identifier in database, and also a visit number is used to make billing that includes all patient charges within a certain visit. Each order contains patient data, a list of specimens collected from a patient and a list of tests should be done under specimens. It can also contain doctor's data, insurance, family data etc.

Laboratories making pathology tests work with surgical specimens removed from the body, whole bodies, body fluids and tissues. During analyzing

pathologists use instruments and inventories that may obtain and send some testing data by manually entering or automatically.

After technician registered an order it transfers to a laboratory for processing (block 2 on figure 1). Depends on specimens were collected the specific tests were ordered, based on them a processing of order may have all following actions or skip some of them. Specimen grossing (block 2.1 on figure 1) and microtomy (block 2.2 on figure 1) should be done in any case under any specimen. Grossing is a process of specimen description based on pathologist visual assessment, it may be dictated as an audio track or written as a text data.

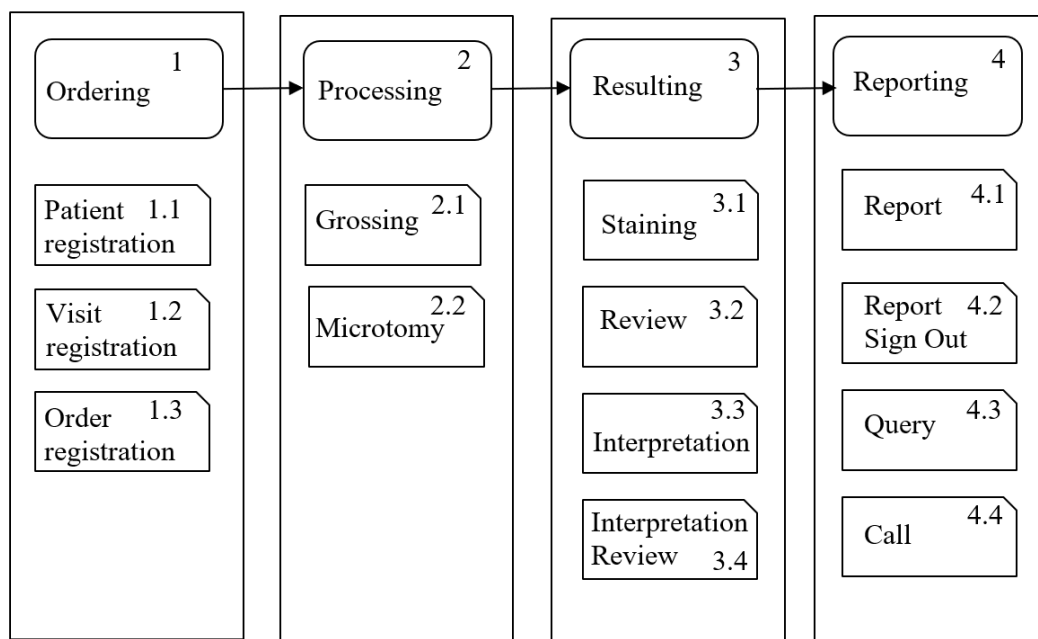


Figure 1. Diagnosis pathology laboratory general workflow of histopathology testing

After pathologist made microtomy the initial material becomes a set of slides to process and a portion of the initial specimen that got frozen and store in a fridge. Slides shall be stained by a single stain or a set of stains (block 3.1 on figure 1) and interpreted by a pathologist (block 3.3 on figure 1).

Staining, interpretation, and final reports are usually reviewed by another pathologists, sometimes it is needed a several persons to review each action (block 3.2 and 3.4 on figure 1).

---

A reporting stage (block 4 on figure 1) is usually present in a workflow but it is acceptable to process tests without reporting when the results are needed for another test or sent to external system. Reports (block 4.1 on figure 1) should be signed out by a pathologist (block 4.2 on figure 1) or could be auto signed out. Sometimes it is needed to have two or more signs on a report. After report is signed out order becomes inactive and could be viewed in read-only mode in LIS.

Querying (block 4.3 on figure 1) all patient previous tests and results is usually necessary to understand a clinical figure and make a right diagnosis. There is also one of the most important features to the end-user is the ability to efficiently navigate historical information [8]. When the report and diagnosis are made then it may be necessary to call or e-mail the patient or his doctor, this option should be scheduled or made automatically (block 4.4 on figure 1). Most of researches found out that a tool to generate and send result letters with predefined texts to patients via email is the highest-rated feature of a potential results management system [9].

**Data model.** Following entities are created to describe data flow from the LIS functioning point of view.

- O - a set of orders registered in the system,
- T - a set of tests that could be ordered, (1)
- S - a set of specimens that could be collected from patients,
- B - a set of material containers.

Following sets of states in which these entities could be at a particular moment are created.

$Q^O = \{q_i^O\}_{i=0}^5 = \{\text{not created, new, test added, specimen added, in process, completed}\}$  - states of order,

$Q^S = \{q_j^S\}_{j=0}^5 = \{\text{not created, new, collected, received, in process, completed}\}$  - states of specimen,

$Q^B = \{q_k^B\}_{k=0}^3 = \{\text{not created, new, in process, completed}\}$  - states of containers,

$Q^T = \{q_m^T\}_{m=0}^6 = \{\text{not created, new, in process, QC passed/failed, pending for interpretation, pending for sign out, completed}\}$  - states of test.

Sets of actions for each of these entities are created. These actions are performed manually by technician or pathologist or could be made automatically

by an instrument.

$A^O = \{a_p^O\}_{p=1}^5 = \{\text{create, add test, add specimen, add report, complete}\}$  - actions performed on order,

$A^S = \{a_t^S\}_{t=1}^6 = \{\text{collect, receive, material prepare, gross, aliquot, material processing}\}$  - actions performed on specimen,

$A^B = \{a_l^B\}_{l=1}^4 = \{\text{prepare for processing, tissue processing, embedding, microtomy}\}$  - actions performed on container,

$A^T = \{a_u^T\}_{u=1}^5 = \{\text{slide staining, QC checking, panel interpretation, panel review, report sign out}\}$  - actions performed on test.

Action diagram of histopathology test processing is presented on figure 2 in terms of definitions given above and testing workflow.

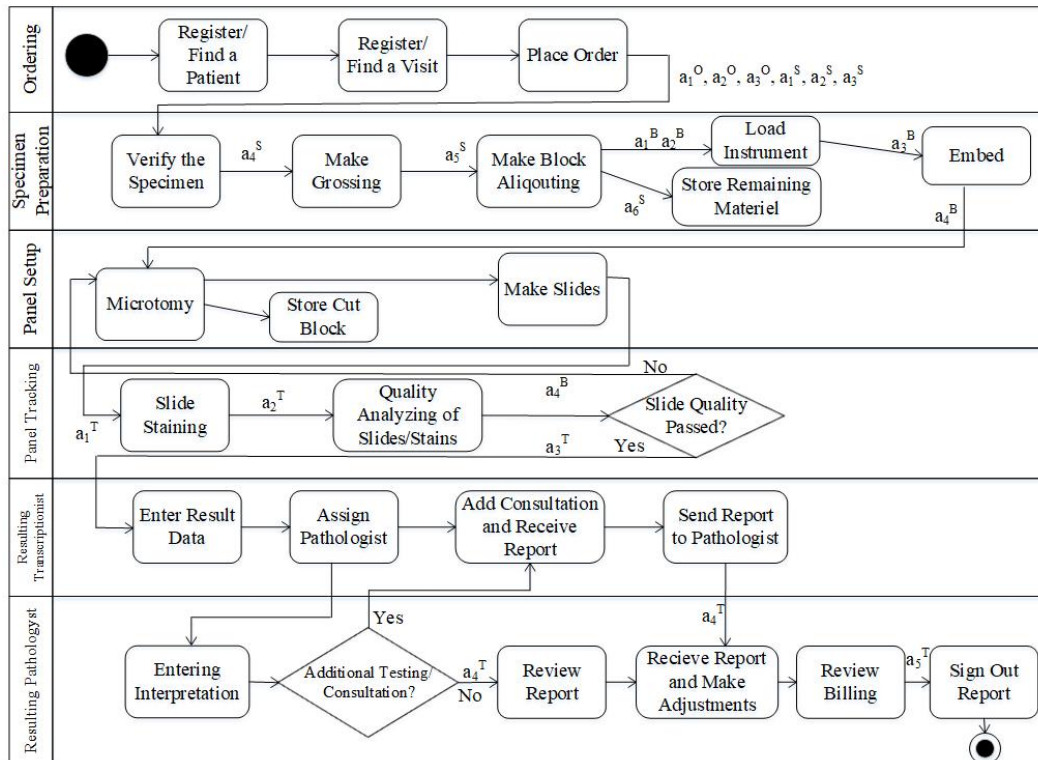


Figure 2. Action diagram (BPMN) of histopathology test processing

A set of rules will transfer entities (1) from one state to another depends on action performed on it. Rules are based on Turing machine model: actions are a set that contains alphabet, states of corresponding entities compose states of machine, an action performed by pathologist or instrument is an input symbol.

---

The system state is described by vector  $Q(q^O, q^T, q^S, q^B)$  that depends on states of four entities - order, test, specimen and container, each of them could be switched by a rule. The fragment of rule's set representing order creation and specimen preparation processes is following.

$Q(q_0^O, q_0^T, q_0^S, q_0^B)$  - the initial state of the system.

$r_1: a_1^O Q(q_0^O, q_0^T, q_0^S, q_0^B) \rightarrow a_1^O Q(q_1^O, q_0^T, q_0^S, q_0^B)$

$r_2: a_2^O Q(q_1^O, q_0^T, q_0^S, q_0^B) \rightarrow a_2^O Q(q_2^O, q_1^T, q_0^S, q_0^B)$

$r_3: a_3^O Q(q_1^O, q_0^T, q_0^S, q_0^B) \rightarrow a_3^O Q(q_3^O, q_0^T, q_1^S, q_0^B)$

$r_4: a_3^O Q(q_2^O, q_1^T, q_0^S, q_0^B) \rightarrow a_3^O Q(q_4^O, q_1^T, q_1^S, q_0^B)$

$r_5: a_2^O Q(q_3^O, q_0^T, q_1^S, q_0^B) \rightarrow a_2^O Q(q_4^O, q_1^T, q_1^S, q_0^B)$

$r_6: a_1^S Q(q_4^O, q_1^T, q_1^S, q_0^B) \rightarrow a_1^S Q(q_4^O, q_1^T, q_2^S, q_0^B)$

$r_7: a_2^S Q(q_4^O, q_1^T, q_2^S, q_0^B) \rightarrow a_2^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B)$

$r_8: a_3^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B) \rightarrow a_3^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B)$

$r_9: a_4^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B) \rightarrow a_4^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B)$

$r_{10}: a_5^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_0^B) \rightarrow a_5^S Q(q_4^O, q_1^T, q_3^S, q_1^B)$

This set of rules do not have shift variable as the classical Turing machine model has because we assume that shifting is always made into right.

**Conclusions and further researches directions.** Laboratory information system as a part of information delivery system is a main element in electronic clinical data circulation and medical record storing.

Created in this paper model could be used in LIS development process. Business process formalization gives a visualized instrument that allows effectively control and manage LIS functioning rules. This model allows to perform preliminary setup and adaptation of business process to a specific laboratory needs while developing LIS.

Further development of this model could be integration with the optimization methods to optimize using expensive environments and reagents in laboratories.

#### References:

1. Henricks, W. H.: Information System Issues Facing Clinical Laboratories Serving Complex Integrated Delivery Systems. Journal of healthcare information management 14(3), 55-67 (2000).
2. Gatedee J., Phraephan S., Suriyaprom K., Phurijaruyangkun S.,

---

Muangman S., Pangsap P., Somyanonthanankul R.: Design and Implementation of Laboratory Information System: A Case Study at the Medical Technology Clinic. RSU International Research Conference, 224-232 (2017).

3. Pan X., Cimino J. J.: Identifying the Clinical Laboratory Tests from Unspecified “Other Lab Test” Data for Secondary Use. AMIA Annual Symposium Proceeding Archive, 1018–1023 (2015).

4. Quo C. F., Wu B., Wang M. D.: Development of a Laboratory Information System for Cancer Collaboration Projects. IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, 2859-2862 (2005).

5. Wendl, M.C., Smith, S., Pohl, C.S. et al. Design and implementation of a generalized laboratory data model. BMC Bioinformatics 8, 362 (2007). doi: 10.1186/1471-2105-8-362.

6. Li L., Vecellio E., Xiong J., Georgiou A., Eigenstetter A., Cobain T., et al.: Assessing the variation of pathology test utilisation volume by diagnosis-related groups. CEUR Workshop Proceedings, 1-6 (2016).

7. Pardo I.-D., Pardo L., Francisco J., Francisco M.: Automatic Workflow Scientific Model for Lab Test in Civil Engineering. International Journal of Applied Engineering Research 13 (9), 6529-6535 (2018).

8. Cutting E.M., Overby C.L., Banchemo M., et al.: Using Workflow Modeling to Identify Areas to Improve Genetic Test Processes in the University of Maryland Translational Pharmacogenomics Project. AMIA Annual Symposium Proceeding Archive, 466-474 (2015).

9. Tarkan S., Plaisant C., Shneiderman B., Hettinger A. Z.: Reducing missed laboratory results: defining temporal responsibility, generating user interfaces for test process tracking, and retrospective analyses to identify problems. AMIA Annual Symposium Proceeding Archive, 1382-1391 (2011).

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.1-59.2>

УДК 629.039.58: 681.518.22

**О. В. Іванченко**, кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри транспортних си-  
стем та технологій Університету митної  
справи та фінансів

## **АНАЛІТИКО-СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ КІБЕРНЕТИЧНИХ ТА ХМАРНИХ АКТИВІВ СИСТЕМИ SCADA КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

*Аналіз сучасних тенденцій розвитку, застосування за призначенням систем диспетчерського управління та збору даних (SCADA) критичних інфраструктур (КІ) свідчить про необхідність розробки методологічних основ забезпечення гарантоздатності їхніх активів. Підставою для цього є постійно зростаючий рівень загроз кібернетичним активам SCADA, які з метою покращення пропускнуої спроможності, можливостей щодо створення резервних копій, здатності до аварійного відновлення та швидкодії було доповнено відповідними хмарними обчислювальними системами і технологіями. Використання комплексного підходу щодо вирішення проблеми, пов'язаною з оцінкою рівня готовності, безпеки кібернетичних та хмарних активів SCADA КІ при відмовах і атаках на вразливості розглядається як один з найважливіших науково-дослідницьких чинників в пропонуємі до розгляду статті. Саме тому побудова аналітико-стохастичної моделі гарантоздатності лежить в основі розробляємої процедури оцінювання, яка реалізується у відповідності зі сценаріями зловмисних шкідливих впливів на кібернетичні та фізичні активи системи SCADA КІ.*

Ключові слова: архітектурна реалізація SCADA КІ, кібернетичні та хмарні активи, напівмарковське моделювання.

*Анализ современных тенденций развития, использования по назначению систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) критических инфраструктур (КИ) свидетельствует о необходимости разработки методологических основ обеспечения гарантоспособности их активов. Основание для этого – возросший уровень угроз кибернетическим активам SCADA, которые с целью улучшения пропускной способности, возможностей по созданию резервных копий, аварийному восстановлению и быстродействию были дополнены соответствующими облачными системами и технологиями. В предлагаемой к рассмотрению статье использование*  
© О. В. Іванченко, 2020

---

подхода к решению проблемы, связанной с оценкой уровня готовности, безопасности кибернетических и облачных активов SCADA КИ при отказах и атаках на уязвимости рассматривается как одна из важнейших научно-исследовательских задач. Именно поэтому построение аналитико-стохастической модели гарантоспособности лежит в основе разрабатываемой процедуры оценивания, которая реализуется в соответствии со сценариями злонамеренных вредоносных воздействий на кибернетические и облачные активы системы SCADA КИ.

Ключевые слова: архитектурная реализация SCADA КИ, кибернетические и облачные активы, полумарковское моделирование.

*Methodological provisions pertaining to necessary a dependability assurance of supervisory control and data acquisition systems (SCADA) for critical infrastructures is based on analysis of contemporary development trend and operational usage of these systems. At the same time, an increased cyber threats level of the SCADA systems is proved that developers and service personnel should improve bandwidth, disaster recovery and backup procedures of these systems. The issue can be eliminated by them based on the use of additional cloud systems and technologies. In the proposed paper, usage of a comprehensive approach in order to solve concerns relating to availability, safety of the cyber and cloud assets for SCADA of critical infrastructures is considered as one of the most important scientific task. Which is why the proposed analytical and stochastic dependability models are basis for a developing assessment procedure for SCADA of the critical infrastructures, which can be implemented by researchers according to a deliberate malicious impact scenario on assets of SCADA for critical infrastructures. It means that before begin to SCADA system developers and researchers will perform quite deep analysis based on a scientific study. Since how to determine dependability assessment for the SCADA system is an important issue that to be studied. Therefore, developers, service personnel and scientists should work together in order to create effective functioning protection system for cyber and cloud assets of SCADA. In addition, the service personnel should leverage especial cyber protection systems, devices and applications such as, firewalls, password cyberprotection subsystems etc. The author proposes to get more modeling numerical results based on the use of Markov Modeling Process. In fact, the modeling process was carried out in two parts. First part has included a building process of save and secure block diagram for cyber and cloud assets considering different types of deliberate malicious impacts. Second part was being devoted to the implementation Semi-Markov Modeling Process based on the use of overall architecture of the SCADA system.*



---

Keywords: *architectural implementation for SCADA of a critical infrastructure, cyber and cloud assets, Semi-Markov Modeling Process.*

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю сьогодення є постійно зростаючий рівень загроз для систем (об'єктів) критичної інфраструктури (КІ). Зокрема, це стосується компонентів, що утворюють контур управління КІ. Сучасні системи диспетчерського управління та збору даних (SCADA) слід розглядати як один з основних компонентів цього контуру. Тому по відношенню до системи SCADA КІ теж існують певні загрози, які реалізуються через її кібернетичні активи.

Крім того, зростання складності та масштабів завдань для КІ, які вирішуються за допомогою SCADA, викликає необхідність обробки великих обсягів інформації на основі застосування додаткових обчислювальних ресурсів і сервісів. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є використання хмарних обчислювальних систем, які утворюють відповідні активи.

Аналіз відомих загроз і наслідків багатьох негативних подій по відношенню до кібернетичних активів SCADA КІ, а також до хмарних систем відповідних провайдерів свідчить про великий рівень невизначеності, що виникає при урахуванні аспектів готовності, гарантоздатності та кібербезпеки. Для зменшення цієї невизначеності доцільно отримати результати моделювання поведінки кібернетичних та хмарних активів SCADA КІ при негативних шкідливих впливах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі методи моделювання поведінки складних систем лежать в основі методичного апарату оцінки рівня їхньої готовності та гарантоздатності. Ці методи можуть також бути використані щодо моделювання атак на кібернетичні та хмарні активи системи SCADA КІ. Серед них особливо слід виділити метод дерева відмов (МДВ), який широко застосовується для моделювання поведінки промислових об'єктів під час атак та для розв'язування задач з інженерії надійності [1].

В 90-х роках минулого століття як продовження МДВ було винайдено метод дерева атак [2], який все частіше почав використовуватися для моделювання зловмисних шкідливих впливів (ЗВШВ) в двадцять першому столітті. Моделювання ЗВШВ методом дерева атак здійснювалося з використанням спеціалізованих мов програмування UMLsec [3] та SysMLsec [4].

---

Важливу роль при моделюванні ЗВШВ грає знання вразливостей та точок докладення атак на кіберактиви. Всі ці аспекти враховуються та аналізуються при визначенні атрибутів дерева атак [5,6].

Наявність хмарних активів в системі управління КІ створює нові загрози функціональній та інформаційній безпеці критичній інфраструктурі в цілому [7]. Необхідно знати місце, роль хмарних активів в загальній архітектурі SCADA та як вони впливають на гарантоздатність системи, інфраструктури в цілому. В цьому контексті важливо встановити баланс між фізичним, кібернетичними та хмарними активами системи SCADA та визначити їхній рівень готовності. Для розв'язування цієї досить складної задачі слід застосовувати апарат аналітико-стохастичного моделювання кібератак на системи (об'єкти) КІ, який використовувався в роботах [8–10].

Серед загального модельного ряду значну частину складають ймовірнісні моделі надійності програмного забезпечення (ПЗ), яке належить до кібернетичних активів КІ. Системний обзор моделей ПЗ, яке застосовується в системах управління об'єктами атомної енергетики, включаючи марковські моделі, комбінаторні моделі, моделі Байєса, Гоуела-Окумото, представлено в роботі [11]. З цієї точки зору, у дослідників в сфері забезпечення відмовостійкості ПЗ КІ з урахуванням терміну використання програмного забезпечення певний інтерес можуть викликати роботи [12,13].

Відомо, що для оцінки гарантоздатності хмарних активів SCADA КІ застосовуються різноманітні підходи. Наприклад, один з підходів базується на дослідженнях в сфері енергоефективності інформаційних центрів (ІЦ) відповідних хмарних провайдерів. Зокрема, в роботах [14,15] розглядаються моделі енергоспоживання хмарного ІЦ та хмарних систем (ХМС) з урахуванням необхідного обсягу енергії щодо розв'язування конкретних завдань. Теорія масового обслуговування лежить в основі запропонованих моделей.

Досить широке застосування знайшли стохастичні мережі Петрі (СМП) як для моделювання поведінки, так і для оцінки показників ефективності хмарних обчислювальних систем. В роботі [16] моделі на основі застосування СМП використовуються для обчислення деяких метрик продуктивності публічної мобільної хмари.

**Мета статті.** Виходячи з зазначеного, актуальною задачею є створення науково-методичного апарату моделювання поведінки системи SCADA КІ з урахуванням негативного впливу на її активи. Фактично мета статті полягає

---

в розробці аналітико-стохастичної моделі готовності кібернетичних та хмарних активів SCADA KI при відмовах і атаках на їхні вразливості. Оцінка готовності SCADA KI, яка враховує ЗВШВ на відповідні активи може бути використана для спільного забезпечення гарантоздатності хмарних систем і критичних інфраструктур, оперативного моніторингу, оцінювання стану, захисту фізичних і кібернетичних активів при відмовах і атаках на вразливості.

**Виклад основного матеріалу.** Як наочний приклад розглянемо процес функціонування SCADA у складі системи управління критичної енергетичної інфраструктури (KEI). На рис. 1 представлено компоненти KEI, які визначають основні функції енергетичної інфраструктури. Система SCADA відповідає за якісне виконання трьох функцій KEI, а саме: транспортування, розподілення, споживання.

Спираючись на загальну концепцію забезпечення гарантоздатності SCADA KI, розглянемо методологічні основи ризик-аналізу негативного впливу на активи критичної енергетичної інфраструктури. Таксономію методу оцінювання функціональної безпеки KEI з урахуванням ризику негативного впливу на її активи, до складу яких входять фізичні (ФА), кібернетичні (КА) та хмарні (ХМА) активи, зображено на рис. 2. На думку автора, аналогічний підхід, інструментарій реалізації якого описано в роботі [17], можна застосовувати для оцінювання гарантоздатності системи SCADA KI за умови дії зловмисних шкідливих впливів на її активи.

У ракурсі визначення перспектив подальшого розвитку розглянемо можливість спільного застосування SCADA KEI та ХМС, які водночас утворюють відповідні активи, тобто ХМА. Наприклад, в роботі [18] розглянуто можливість створення хмарно-орієнтованої мікросервісної платформи SCADA щодо покращення виконання функцій по збору, зберіганню, аналізу, обробці, відображенню інформації та відповідні переваги такої архітектурної реалізації при розв'язуванні завдань по віддаленому аварійному відновленню, створенню резервних копій і еластичному управлінню обчислювальним навантаженням.



Рис. 1. Основні компоненти критичної енергетичної інфраструктури [19]

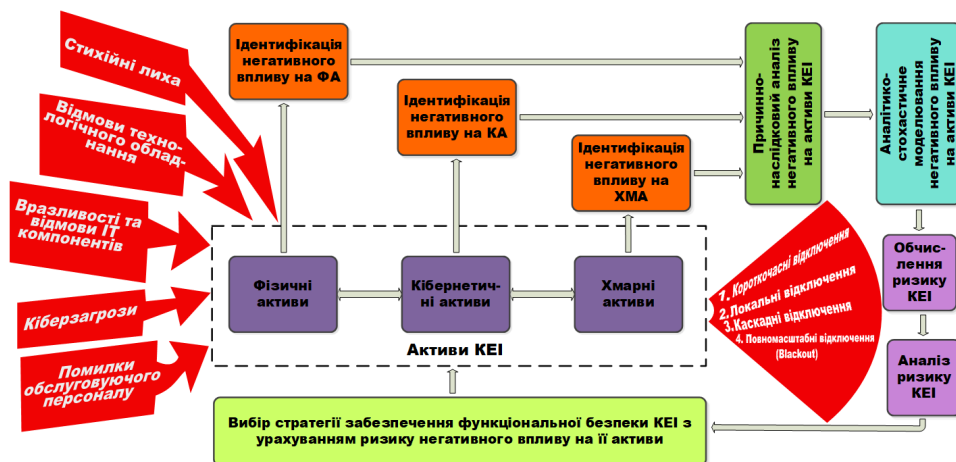


Рис. 2. Таксономія методу оцінювання функціональної безпеки KEI з урахуванням ризику негативного впливу на її активи

Важливим аспектом застосування за призначенням в структурі системи управління KEI є розподілення функцій енергоінфраструктури між фізичними, кібернетичними та хмарними активами SCADA. До вирішення цієї задачі необхідно підійти комплексно, враховуючи розширення функцій SCADA KEI щодо аварійного відновлення, резервного копіювання та зберігання інформації за рахунок застосування ХМС. Залучення активів системи SCADA щодо виконання основних функцій KEI представлено в табл. 1.

Таблиця 1.

**Залучення активів системи SCADA щодо виконання основних функцій KEI**

| Функції KEI     | Активи SCADA KEI |    |     |
|-----------------|------------------|----|-----|
|                 | ФА               | КА | ХМА |
| Транспортування | +                | +  | –   |
| Розподілення    | +                | +  | +   |
| Споживання      | –                | +  | +   |

В табл. 2 представлено результати порівняльного аналізу можливостей різних типів активів хмарних систем, критичної енергетичної інфраструктури та системи SCADA з ХМС, яка входить до контуру управління КЕІ щодо виконання аварійного відновлення, резервного копіювання та зберігання інформації. На підставі виконаного аналізу розширюються можливості щодо побудови аналітико-стохастичної моделі готовності кібернетичних та хмарних активів SCADA КІ, яка враховує як різноманітні відмови, так і ЗВШВ.

Таблиця 2.

**Аналіз можливостей активів КЕІ, ХМС та SCADA**

| Типи активів систем та інфраструктур |    | Функції відновлення та зберігання інформації |                     |                       |
|--------------------------------------|----|--|---------------------|-----------------------|
|                                      |    | Аварійне відновлення                         | Резервне копіювання | Зберігання інформації |
| КЕІ                                  | ФА | –  | –                   | –                     |
|                                      | КА | –  | +                   | +                     |
| ХМС                                  | ФА | –  | +                   | –                     |
|                                      | КА | +  | +                   | +                     |
| SCADA КЕІ з ХМС                      | ФА | –  | +                   | –                     |
|                                      | КА | +  | +                   | +                     |

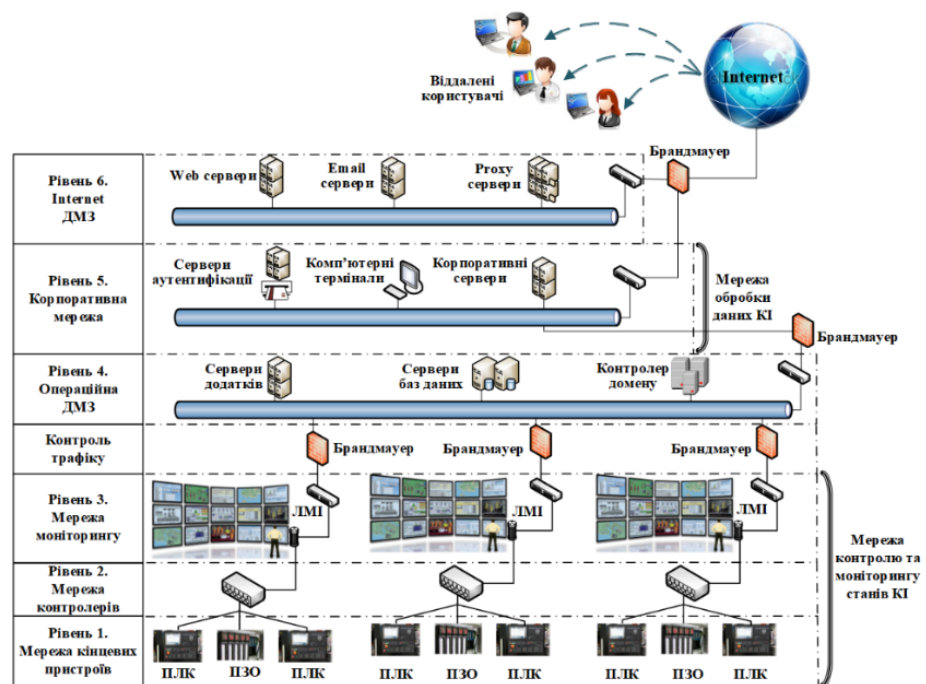


Рис. 3. Архітектура ФА та КА системи SCADA КІ для мережевого рівня їхньої реалізації [20]

---

Розглянемо яким чином можна побудувати пропонуємої модель на основі архітектурної реалізації об'єкта дослідження. На рис. 3 представлена архітектура фізичних та кібернетичних активів системи SCADA KI для мережевого рівня їхньої реалізації. Будемо вважати, що на систему SCADA KI, архітектура якої представлена на рис. 3, здійснюється атака за певним сценарієм з використанням ЗВШВ на її фізичні та кібернетичні активи. Припустимо, що у відповідності зі сценарієм, враховуючи результати відомого досвіду ЗВШВ на ФА та КА національної критичної енергоінфраструктури [21], атака реалізується в декілька етапів, а саме:

- 1) на першому етапі здійснюється цільовий фішинг (ЦФ);
- 2) на другому етапі можливе розкриття інформації (РЗІ) внаслідок здійснення ЦФ;
- 3) на третьому етапі система може бути цілковито скомпрометована за рахунок фальсифікації (ФСФ) та підміни інформації (ПДМ).

На рис. 4–8 зображено діаграми зловмисних шкідливих впливів на ФА та КА системи SCADA KI, які реалізуються згідно описаного сценарію.

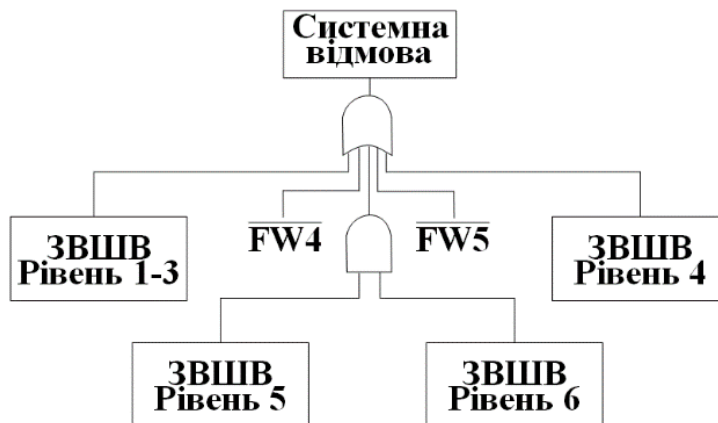


Рис. 4. Діаграма ЗВШВ на ФА та КА системи SCADA KI

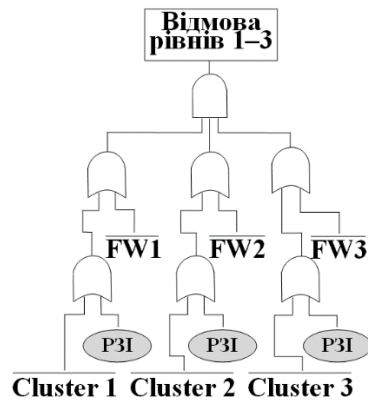


Рис. 5. Діаграма ЗВШВ на перший, другий та третій мережеві рівні SCADA КІ

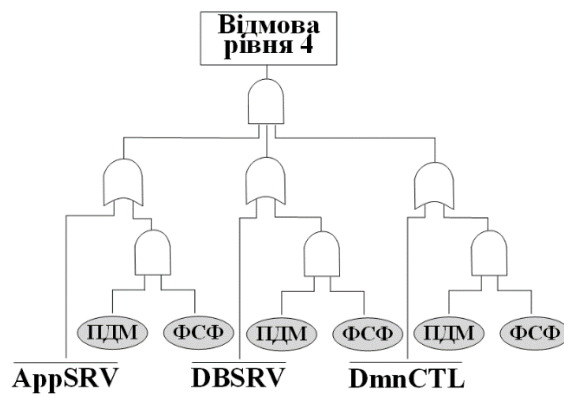


Рис. 6. Діаграма ЗВШВ на четвертий мережевий рівень SCADA КІ

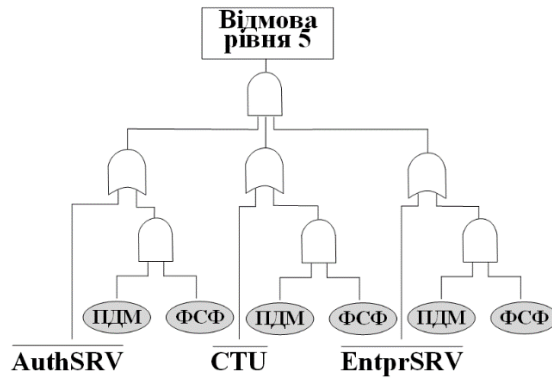


Рис. 7. Діаграма ЗВШВ на п'ятий мережевий рівень SCADA КІ

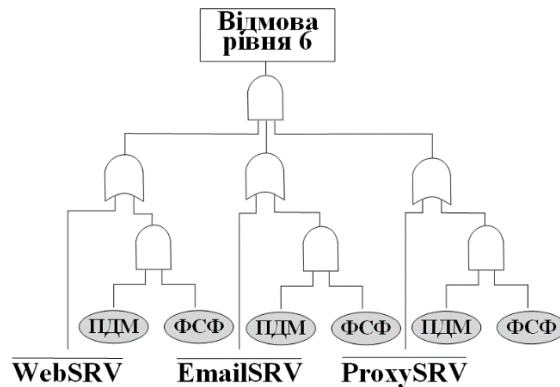


Рис. 8. Діаграма ЗВШВ на шостий мережевий рівень SCADA KI

Всього передбачається розглянути п'ять можливих сценаріїв здійснення ЗВШВ. Відповідно на рис. 5–8 відображено діаграми для першого сценарію. Характеристика видів ЗВШВ представлена в табл. 3. Загальний аналіз наслідків ЗВШВ на активи системи SCADA KI з урахуванням зазначених сценаріїв (рис. 4–12) виконано в табл. 4.

Згідно рис. 5, 9–12 перший, другий, третій кластери, відповідно позначені як Clusters 1–3, утворюються шляхом об'єднання елементів мережі контролю та оперативного моніторингу станів KI (рис. 3) системи SCADA. Для подальшої розбудови аналітико-стохастичної моделі та отримання результатів моделювання необхідно розглянути чотири важливих припущення, які стосуються узгодженості сценаріїв реалізації ЗВШВ з архітектурною побудовою активів системи SCADA KI і урахуванням відповідних мережевих рівнів, а саме:

- 1) перший сценарій ЗВШВ реалізується для архітектури системи SCADA KI, яка представлена на рис. 3;
- 2) другий, третій, четвертий, п'ятий сценарії ЗВШВ реалізуються для перспективної архітектури фізичних, кібернетичних та хмарних активів системи SCADA KI, яку відображено на рис. 13;
- 3) функції АВД та РКП дозволяють повністю усунути наслідки ЗВШВ;
- 4) ХМС відносяться до відмовостійких систем з четвертим рівнем готовності по шкалі HAL (High Availability Level), тобто їхній коефіцієнт готовності не менше ніж 0,9999 [22].



Другий сценарій ЗВШВ

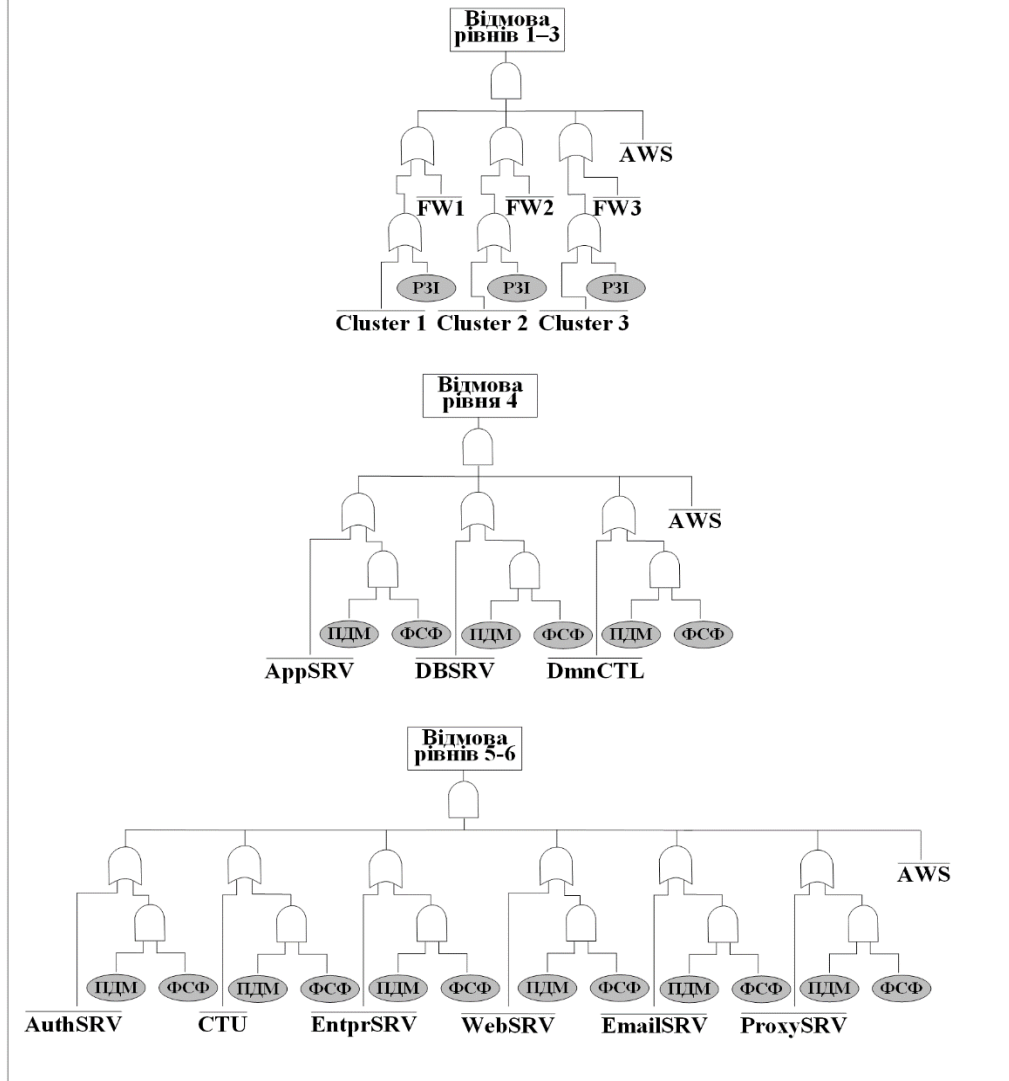


Рис. 9. Другий сценарій ЗВШВ на активи системи SCADA КІ

Третій сценарій ЗВШВ

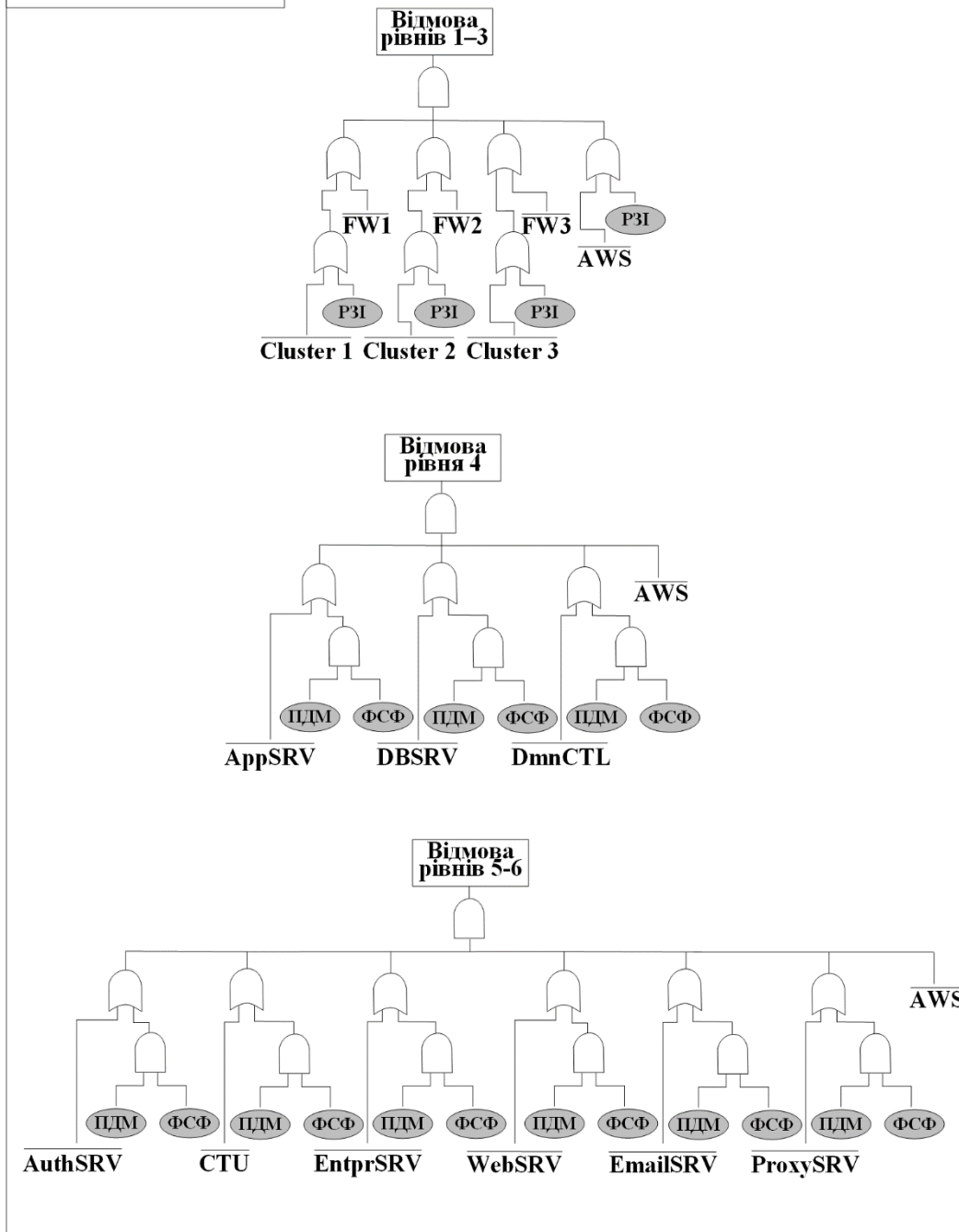


Рис. 10. Третій сценарій ЗВШВ на активи системи SCADA KI

Четвертий сценарій ЗВШВ

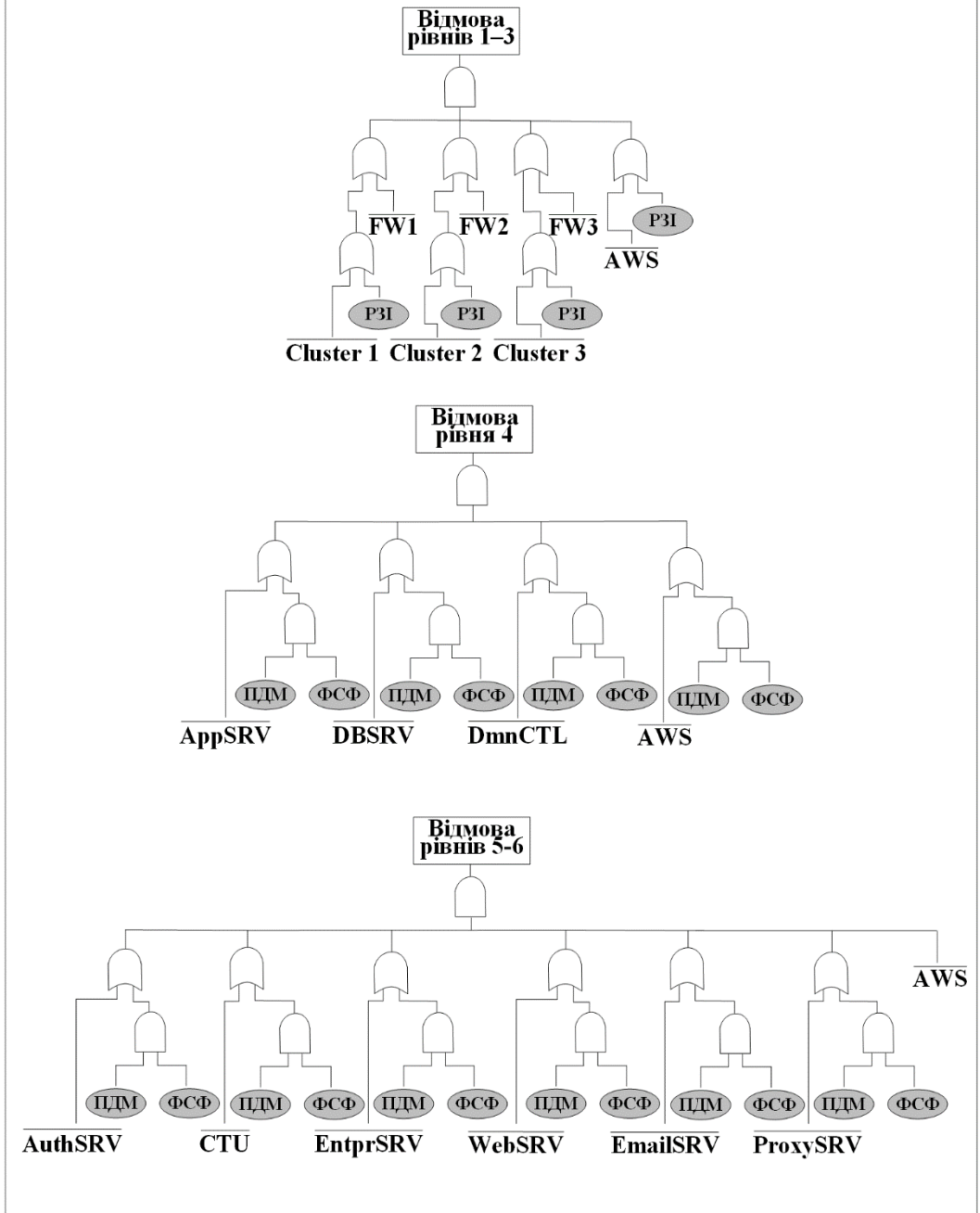


Рис. 11. Четвертий сценарій ЗВШВ на активи системи SCADA KI

П'ятий сценарій ЗВШВ

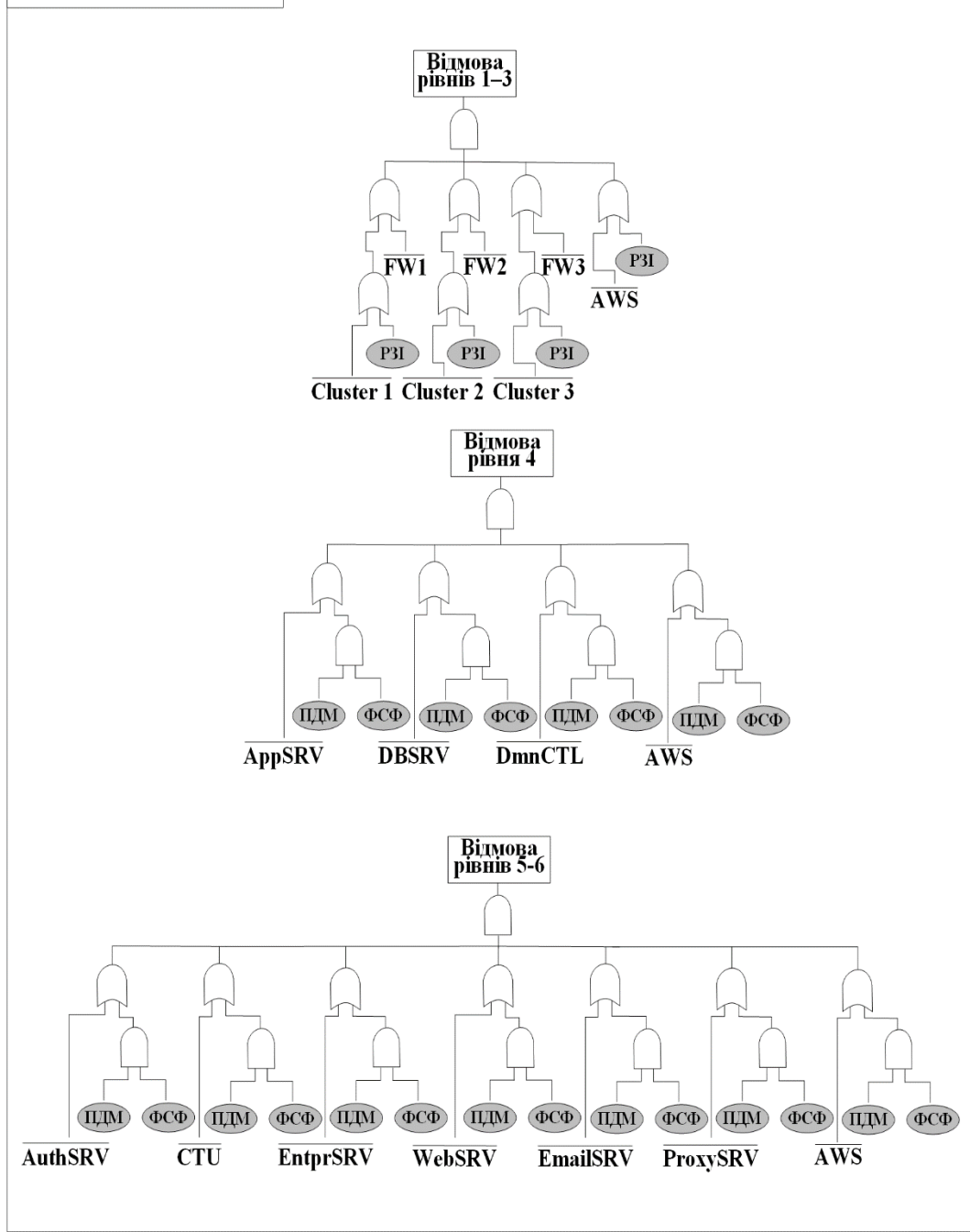


Рис. 12. П'ятий сценарій ЗВШВ на активи системи SCADA КІ

## Характеристика видів ЗВШВ на активи системи SCADA КІ

| Вид ЗВШВ                       | Загальна характеристика  |
|--------------------------------|--|
| Розкриття інформації (РЗІ)     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Здійснюється ЦФ шляхом збору, обробки та аналізу службової інформації корпоративних мереж КІ, включаючи моніторинг інформації, яка курсує у вхідних каскадах мережевих рівнів системи SCADA.</li> <li>2. Виконується ЦФ електронної пошти керівників підрозділів КІ.</li> <li>3. Здійснюється крадіжка облікових даних для доступу до системи SCADA КІ.</li> </ol>   |
| Фальсифікація інформації (ФСФ) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. За результатами ЦФ здійснюється всебічне вивчення системи SCADA, тобто вивчаються структурна побудова, програмне та апаратне забезпечення, навантаження і тому інше.</li> <li>2. Розробка та впровадження вбудованого шкідливого програмного забезпечення для управління обладнанням компонентів КІ.</li> <li>3. Викривлення інформації, яка курсує в інфокомунікаційних системах мережевого рівня SCADA КІ.</li> </ol>  |
| Підміна інформації (ПДМ)       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проникнення в серверні системи мережевого рівня SCADA КІ.</li> <li>2. Інформація управління викривляється та повністю замінюється неправдивою інформацією.</li> <li>3. Повна компрометація системи за рахунок доступу до інформаційного ресурсу.</li> <li>4. Команди управління обслуговуючого персоналу системи SCADA замінюються на шкідливі команди зловмисників за рахунок чого здійснюється синхронізоване дистанційне відключення компонентів КІ.</li> <li>5. Комплексні зловмисні шкідливі впливи, які реалізуються у вигляді: віддаленого відключення резервних блоків живлення пунктів управління компонентами КІ; одночасних фейкових телефонних дзвінків, які відволікають та ускладнюють роботу операторів та обслуговуючого персоналу системи SCADA КІ; розгортання бот мережі, що знищує дані необхідні для управління обладнанням.</li> </ol> |

Таблиця 4.

## Загальний аналіз наслідків ЗВШВ на активи системи SCADA КІ

| Номер сценарія ЗВШВ | Вид ЗВШВ | Компоненти, на які направлена дія ЗВШВ   | Наслідки ЗВШВ   | Рівень успішності ЗВШВ |
|---------------------|----------|--|---|------------------------|
| 1                   | 2        | 3  | 4   | 5                      |
| Перший              | РЗІ      | Програмовані логічні контролери (ПЛК), протиаварійне захисне обладнання (ПЗО), сенсорні модулі (ССРМ), людино-машинні інтерфейси (ЛМІ), які утворюють перший, другий, третій кластери мережі контролю та оперативного моніторингу SCADA КІ | Отримання доступу до інформаційного ресурсу системи SCADA КІ  | Високий                |
|                     | ФСФ      | Серверні (СРВС) та інфокомунікаційні системи (ІКС), контролери доменів (КНТД), комп'ютерні термінали (КМПТ) четвертого, п'ятого, шостого мережевих рівнів SCADA КІ   | Викривлення даних контуру управління КІ з застосуванням інформаційного ресурсу системи SCADA КІ   |                        |
|                     | ПДМ      | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережевих рівнів SCADA КІ   | Компрометація системи, заміна вірогідних даних неправдивими, застосування зловмисниками кібернетичних активів SCADA для відключення компонентів КІ з блокуванням дій обслуговуючого персоналу |                        |

Продовження таблиці 4.

| 1      | 2   | 3  | 4  | 5        |
|--------|-----|--|--|----------|
| Другий | РЗІ | ПЛК, ПЗО, ССРМ, ЛМІ, які утворюють перший, другий, третій кластери мережі контролю та оперативного моніторингу SCADA КІ                                    | Наслідки ЗВШВ оперативно усунуто за рахунок підключення ХМС (Amazon Web Services), створення додаткового резервного контуру у вигляді ХМА для всіх шести мережеских рівнів SCADA КІ та реалізації функцій аварійного відновлення (АВД) і резервного копіювання (РКП) | Низький  |
|        | ФСФ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережеских рівнів SCADA КІ  |  |          |
|        | ПДМ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережеских рівнів SCADA КІ  |  |          |
| Третій | РЗІ | ПЛК, ПЗО, ССРМ, ЛМІ, які утворюють перший, другий, третій кластери мережі контролю та оперативного моніторингу, частково хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ | Отримання доступу до інформаційного ресурсу та ХМА системи SCADA КІ, реалізація функцій АВД і РКП неможлива  | Середній |
|        | ФСФ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережеских рівнів SCADA КІ  | Наслідки ЗВШВ усунуто за рахунок застосування ХМА системи SCADA КІ та реалізації функцій АВД і РКП   |          |
|        | ПДМ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережеских рівнів SCADA КІ  |  |          |

| 1         | 2   | 3  | 4   | 5        |
|-----------|-----|--|---|----------|
| Четвертий | РЗІ | ПЛК, ПЗО, ССРМ, ЛМІ, які утворюють перший, другий, третій кластери мережі контролю та оперативного моніторингу, частково хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ | Отримання доступу до інформаційного ресурсу та ХМА системи SCADA КІ, реалізація функцій АВД і РКП неможлива   | Середній |
|           | ФСФ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПП четвертого, п'ятого, шостого мережних рівнів, частково хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ   | Викривлення даних контуру управління КІ з застосуванням інформаційного ресурсу КА та ХМА системи SCADA КІ, реалізація функцій АВД і РКП неможлива   |          |
|           | ПДМ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПП четвертого, п'ятого, шостого мережних рівнів, частково хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ   | Компрометація систем четвертого мережного рівня та ХМА SCADA КІ. Для п'ятого та шостого мережних рівнів SCADA КІ наслідки ЗВШВ оперативно усунуто за рахунок застосування ХМА та реалізації функцій АВД і РКП |          |
| П'ятий    | РЗІ | ПЛК, ПЗО, ССРМ, ЛМІ, які утворюють перший, другий, третій кластери мережі контролю та оперативного моніторингу, хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ          | Отримання доступу до інформаційного ресурсу та ХМА системи SCADA КІ, реалізація функцій АВД і РКП неможлива   | Високий  |



| 1      | 2   | 3   | 4  | 5       |
|--------|-----|---|--|---------|
| П'ятий | ФСФ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережних рівнів, хмарні активи SCADA КІ            | Викривлення даних контуру управління КІ з застосуванням інформаційного ресурсу КА та ХМА системи SCADA КІ, реалізація функцій АВД і РКП неможлива  | Високий |
|        | ПДМ | СРВС та ІКС, КНТД, КМПТ четвертого, п'ятого, шостого мережних рівнів, хмарні системи AWS (ХМА) SCADA КІ | Компрометація системи, заміна вірогідних даних неправдивими, застосування зловмисниками кібернетичних та хмарних активів SCADA для відключення компонентів КІ з блокуванням дій обслуговуючого персоналу, реалізація функцій АВД і РКП неможлива |         |

Відповідно до рис. 4–8 ймовірність складної події, яка полягає в неготовності активів системи SCADA КІ за результатами реалізації першого сценарію ЗВШВ, можна записати наступним чином [23]:

$$UnAvailability = P(\Phi(X) = 0) = P\{UA_{1-3_j} \cup UA_{4_j} \cup [UA_{5_j} \cap UA_{6_j}] \cup \overline{FW4} \cup \overline{FW5}\}, \quad (1)$$

$$UA_{1-3_j} = \{[\overline{Cluster1} \cup ID] \cup \overline{FW1}\} \cap \{[\overline{Cluster2} \cup ID] \cup \overline{FW2}\} \cap \{[\overline{Cluster3} \cup ID] \cup \overline{FW3}\}, \quad (2)$$

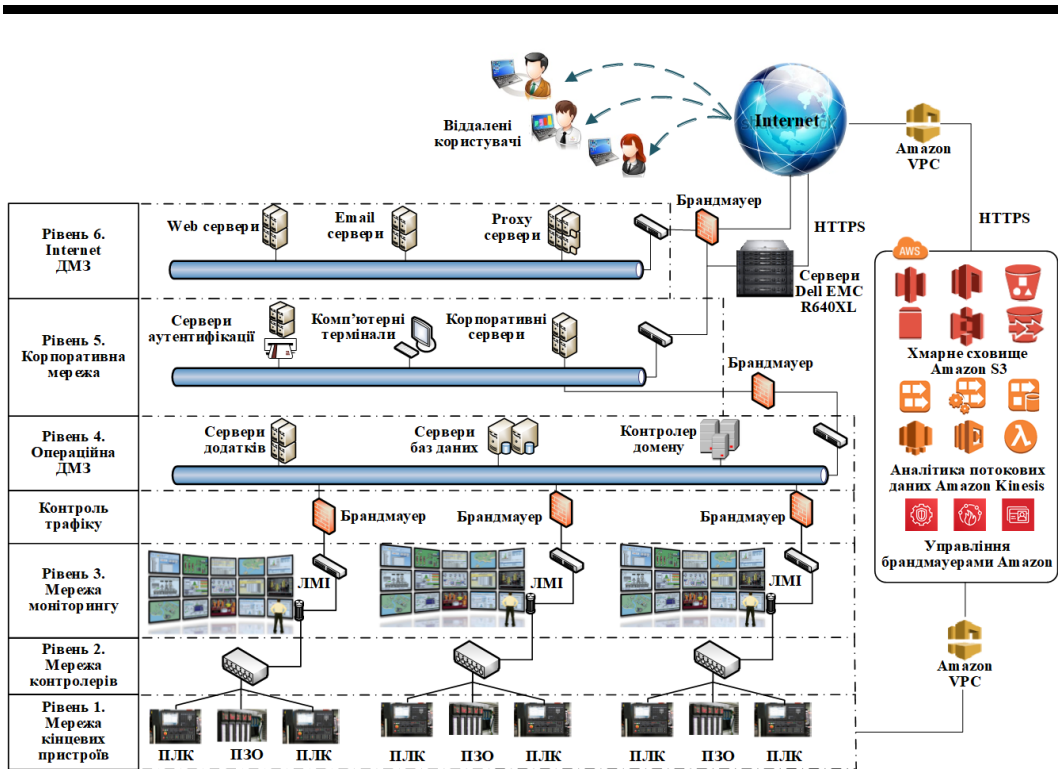


Рис. 13. Архітектура ФА, КА та ХМА системи SCADA КІ для мережевого рівня їхньої реалізації

$$UA_4 = \{\overline{AppSRV} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{DBSRV} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{DmnCTL} \cup [TI \cap SI]\}, \quad (3)$$

$$UA_5 = \{\overline{AuthSRV} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{CTU} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{EntprSRV} \cup [TI \cap SI]\}, \quad (4)$$

$$UA_6 = \{\overline{WebSRV} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{EmailSRV} \cup [TI \cap SI]\} \cap \{\overline{ProxySRV} \cup [TI \cap SI]\}, \quad (5)$$

де  $ID$  – подія, яка полягає в реалізації ЗВШВ у вигляді РЗІ;  $TI$  – подія, яка полягає в реалізації ЗВШВ у вигляді ФСФ;  $SI$  – подія, яка полягає в реалізації ЗВШВ у вигляді ПДМ;  $j$  – номер відповідного сценарію ЗВШВ.

Аналогічна подія для другого сценарію ЗВШБ згідно рис. 9 може бути записана у вигляді

$$UA_{1-3_2} = \left\{ \left[ \overline{Cluster1 \cup ID} \right] \cup \overline{FW1} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster2 \cup ID} \right] \cup \overline{FW2} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster3 \cup ID} \right] \cup \overline{FW3} \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (6)$$

$$UA_{4_2} = \left\{ \overline{AppSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DBSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DmnCTL} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (7)$$

$$UA_{5_2} = \left\{ \overline{AuthSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{CTU} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EntprSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (8)$$

$$UA_{6_2} = \left\{ \overline{WebSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EmailSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{Pr oxySRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}. \quad (9)$$

У той же час ймовірність складної події згідно рис. 10, яка полягає в неготовності активів системи SCADA КІ за результатами реалізації третього сценарію ЗВШБ, можна записати як

$$UA_{1-3_3} = \left\{ \left[ \overline{Cluster1 \cup ID} \right] \cup \overline{FW1} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster2 \cup ID} \right] \cup \overline{FW2} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster3 \cup ID} \right] \cup \overline{FW3} \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup ID \right\}, \quad (10)$$

$$UA_{4_3} = \left\{ \overline{AppSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DBSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DmnCTL} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (11)$$

$$UA_{5_3} = \left\{ \overline{AuthSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{CTU} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EntprSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (12)$$

$$UA_{6_3} = \left\{ \overline{WebSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EmailSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{Pr oxySRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}. \quad (13)$$

Для четвертого сценарію, який реалізується у відповідності з рис. 11, ймовірність складної події, що полягає в неготовності системи SCADA КІ за результатами дії ЗВШБ, записується наступним чином:

$$UA_{1-3_4} = \left\{ \left[ \overline{Cluster1} \cup ID \right] \cup \overline{FW1} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster2} \cup ID \right] \cup \overline{FW2} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster3} \cup ID \right] \cup \overline{FW3} \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup ID \right\}, \quad (14)$$

$$UA_{4_4} = \left\{ \overline{AppSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DBSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DmnCTL} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (15)$$

$$UA_{5_4} = \left\{ \overline{AuthSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{CTU} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EntprSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup [TI \cap SI] \right\}, \quad (16)$$

$$UA_{6_4} = \left\{ \overline{WebSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EmailSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{Pr oxySRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}. \quad (17)$$

Відповідно до рис. 12 ймовірність складної події, яка полягає в неготовності активів системи SCADA KI за результатами реалізації п'ятого сценарію ЗВІШВ, можна визначити як

$$UA_{1-3_4} = \left\{ \left[ \overline{Cluster1} \cup ID \right] \cup \overline{FW1} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster2} \cup ID \right] \cup \overline{FW2} \right\} \cap \left\{ \left[ \overline{Cluster3} \cup ID \right] \cup \overline{FW3} \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup ID \right\}, \quad (18)$$

$$UA_{4_4} = \left\{ \overline{AppSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DBSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{DmnCTL} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \overline{AWS}, \quad (19)$$

$$UA_{5_4} = \left\{ \overline{AuthSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{CTU} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EntprSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup [TI \cap SI] \right\}, \quad (20)$$

$$UA_{6_4} = \left\{ \overline{WebSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{EmailSRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{Pr oxySRV} \cup [TI \cap SI] \right\} \cap \left\{ \overline{AWS} \cup [TI \cap SI] \right\}. \quad (21)$$

Керуючись пропозиціями, описаними в [23,24], та застосовуючи отримані вирази (1)–(21), перейдемо від діаграм ЗВІШВ на активи системи SCADA KI (рис. 4–12) до її структурних схем безпеки (ССБ), які представлено на рис. 14–18.

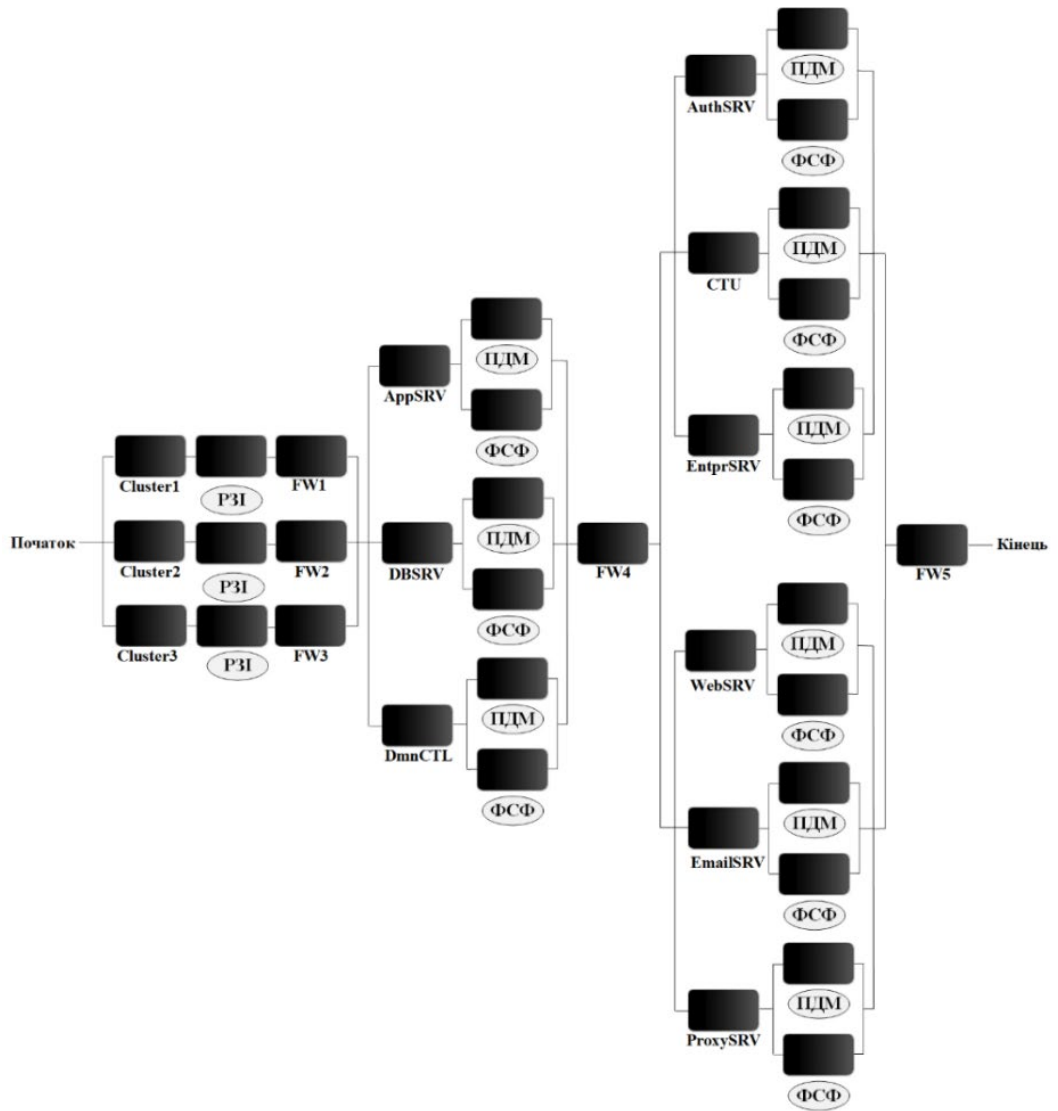


Рис. 14. ССБ системи SCADA КІ для першого сценарію ЗВІШВ

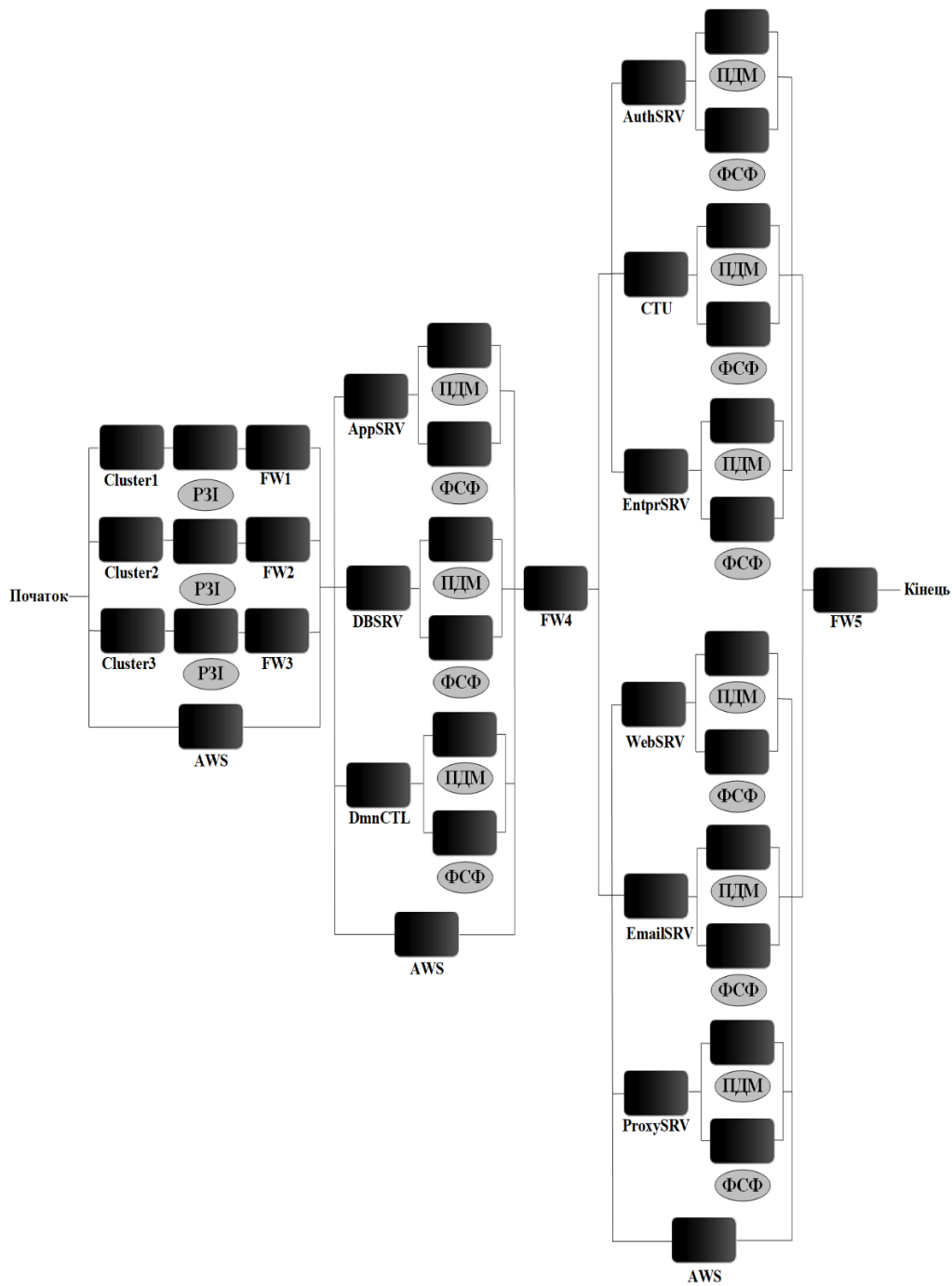


Рис. 15. ССБ системи SCADA КІ для другого сценарію ЗВШВ

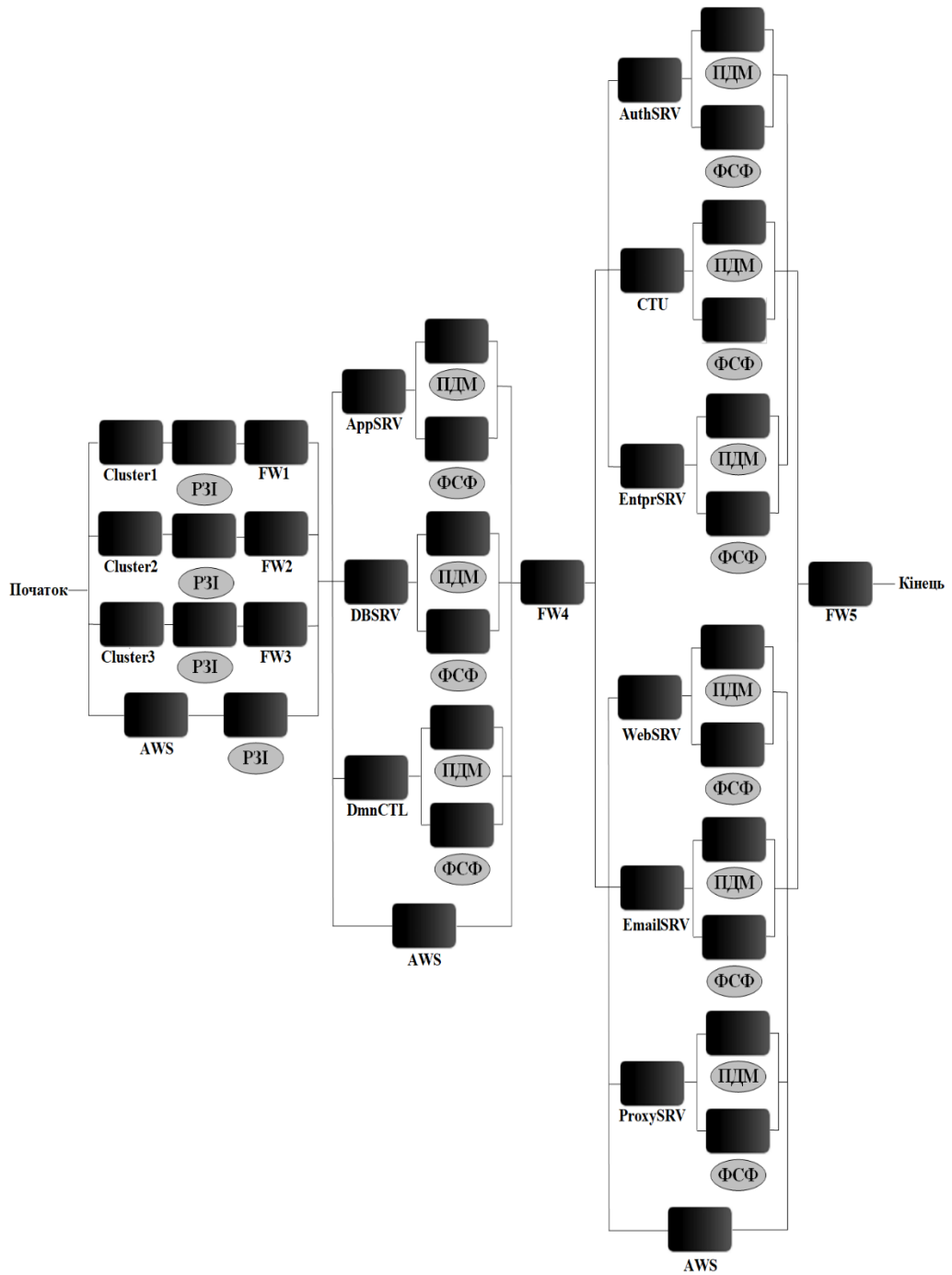


Рис. 16. ССБ системи SCADA КІ для третього сценарію ЗВІШВ

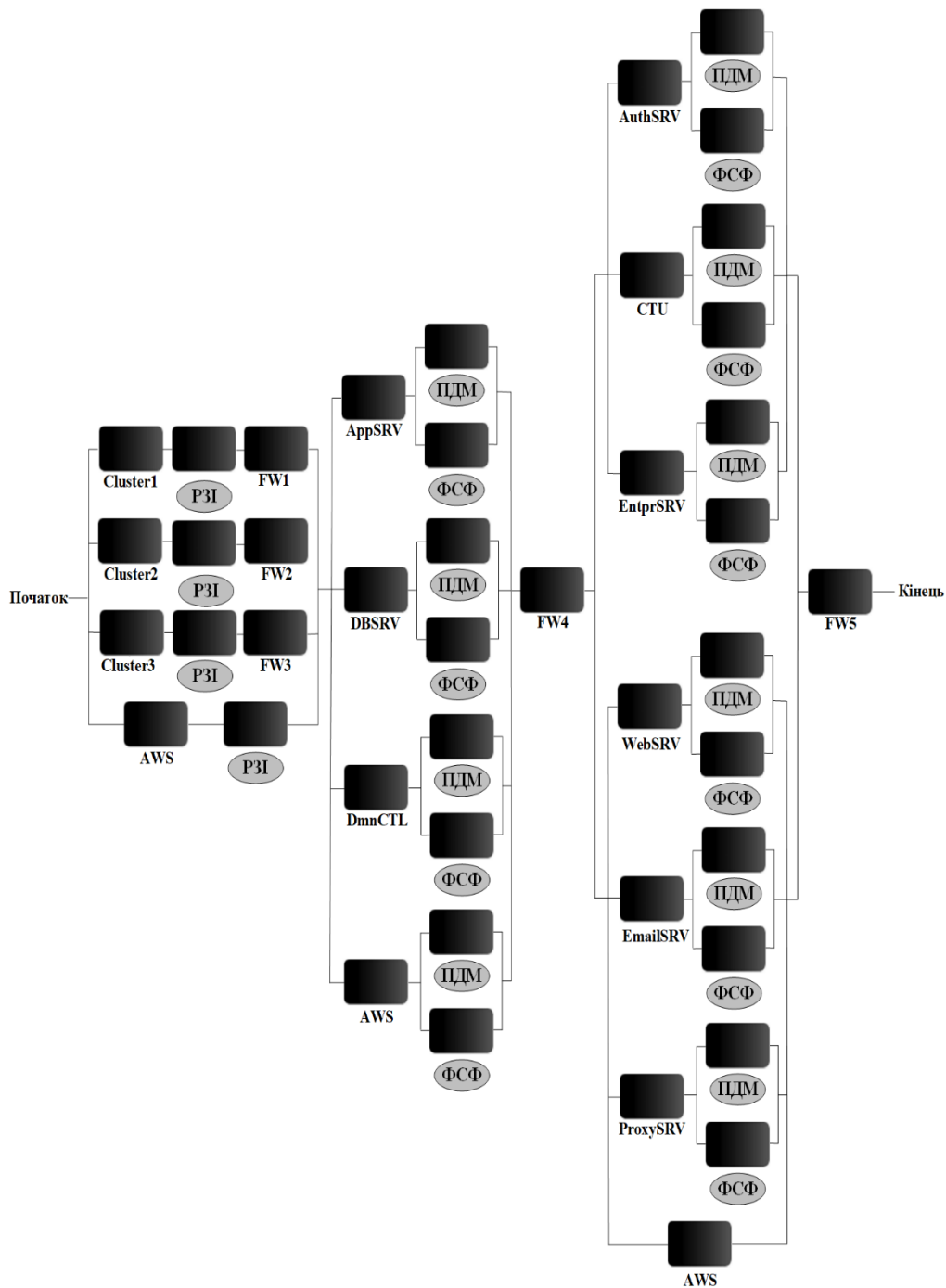


Рис. 17. ССБ системи SCADA КІ для четвертого сценарію ЗВШВ



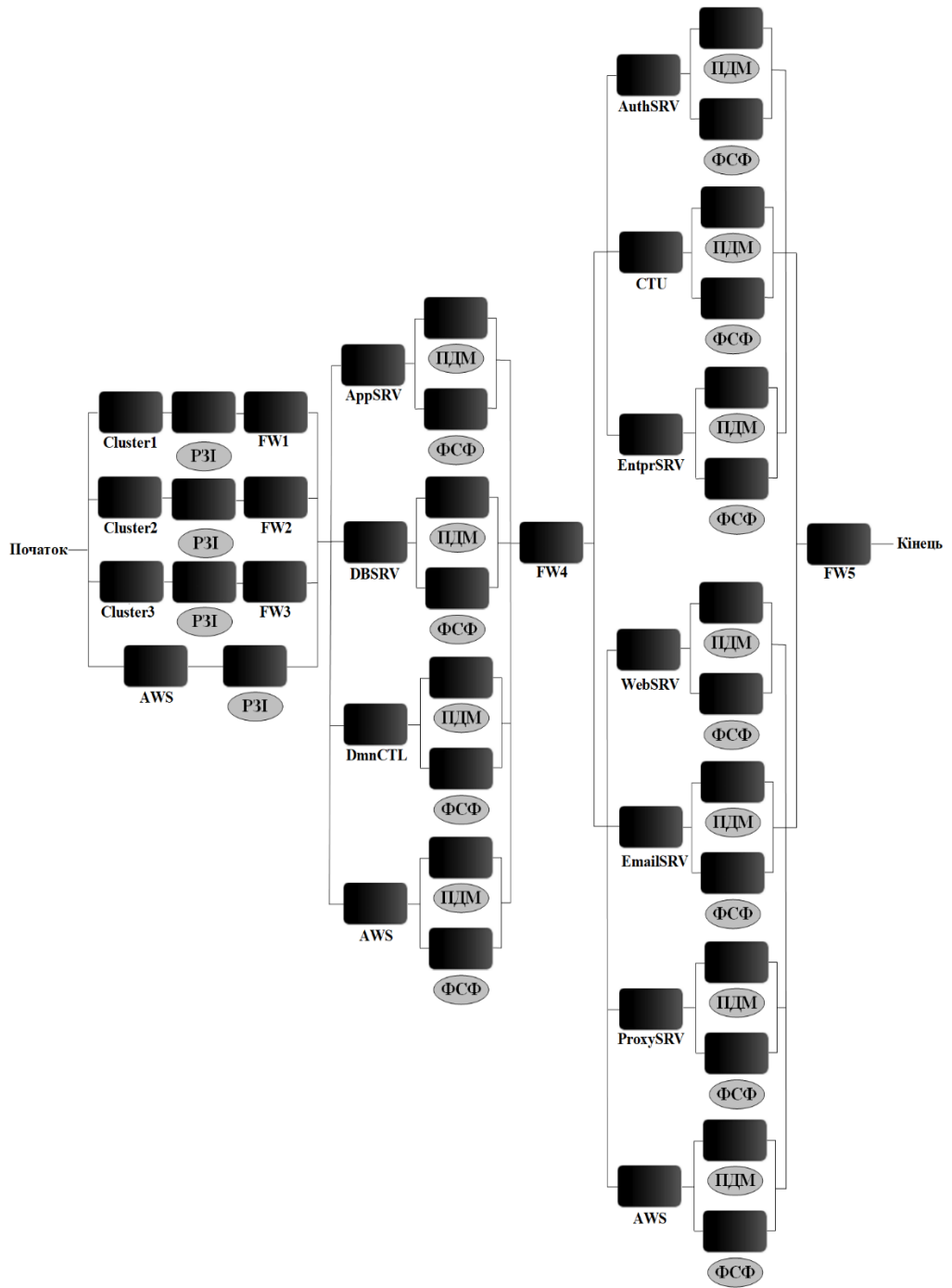


Рис. 18. ССБ системи SCADA КІ для п'ятого сценарію ЗВШВ

У якості комплексного показника гарантоздатності (ГРТЗ) активів системи SCADA KI пропонується застосовувати стаціонарний коефіцієнт готовності (СКГ), обґрунтування доцільності використання якого представлено в роботах [18,23–25]. В загальному вигляді, враховуючи приведені варіанти архітектурної реалізації (рис. 3,4), значення СКГ системи SCADA KI за умови дії ЗВШВ визначається згідно наступного співвідношення:

$$K_{SCADA}^{DMI} = K_{SCADA_1}^{DMI} K_{SCADA_2}^{DMI} K_{SCADA_3}^{DMI} A_{FW_4} A_{FW_5}, \quad (22)$$

де  $K_{SCADA_1}^{DMI}$  – СКГ першого, другого, третього кластерів SCADA KI;  $K_{SCADA_2}^{DMI}$  – СКГ четвертого мережевого рівня SCADA KI;  $K_{SCADA_3}^{DMI}$  – СКГ п'ятого та шостого мережевих рівнів SCADA KI;  $A_{FW_4}$ ,  $A_{FW_5}$  – СКГ четвертого та п'ятого брандмауерів, відповідно.

В співвідношенні (22) перші три складові визначаються за результатами напівмарковського моделювання (НПМ) ЗВШВ на кібернетичні та хмарні активи SCADA KI. Решта вхідних даних для компонентів SCADA задається у відповідності з процедурою параметризації, яка описана в роботах [23,24]. Розглянемо основні аналітичні співвідношення, що відображають специфіку реалізації конкретного сценарію ЗВШВ і використовуються для оцінки відповідних складових.

Згідно ССБ системи SCADA KI для першого сценарію ЗВШВ (рис. 14.) стаціонарний коефіцієнт готовності визначається за допомогою наступних виразів:

$$K_{SCADA_1}^{DMI} = 1 - \overline{K}_{SCADA_1}^{DMI}, \quad (23)$$

$$\overline{K}_{SCADA_1}^{DMI} = \overline{K}_{SCADA_{11}}^{DMI} \overline{K}_{SCADA_{12}}^{DMI} \overline{K}_{SCADA_{13}}^{DMI}, \quad (24)$$

$$\overline{K}_{SCADA_{11}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{11}}^{DMI}, \quad \overline{K}_{SCADA_{12}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{12}}^{DMI}, \quad \overline{K}_{SCADA_{13}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{13}}^{DMI}, \quad (25)$$

$$K_{SCADA_{11}}^{DMI} = A_{Cluster1} A_{FW1} P_{ID}, \quad (26)$$

$$K_{SCADA_{12}}^{DMI} = A_{Cluster2} A_{FW2} P_{ID}, \quad (27)$$

$$K_{SCADA_{13}}^{DMI} = A_{Cluster3} A_{FW3} P_{ID}, \quad (28)$$

$$K_{SCADA_2}^{DMI} = 1 - \overline{K}_{SCADA_2}^{DMI}, \quad (29)$$

$$\overline{K}_{SCADA_2}^{DMI} = \overline{K}_{SCADA_{21}}^{DMI} \overline{K}_{SCADA_{22}}^{DMI} \overline{K}_{SCADA_{23}}^{DMI}, \quad (30)$$

$$\overline{K}_{SCADA_{21}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{21}}^{DMI}, \quad \overline{K}_{SCADA_{22}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{22}}^{DMI}, \quad \overline{K}_{SCADA_{23}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{23}}^{DMI}, \quad (31)$$

$$K_{SCADA_{21}}^{DMI} = A_{AppSRV} K_{SCADA_{211}}^{DMI}, K_{SCADA_{211}}^{DMI} = 1 - \bar{P}_{TI} \bar{P}_{SI}, \bar{P}_{TI} = 1 - P_{TI}, \bar{P}_{SI} = 1 - P_{SI}, \quad (32)$$

$$K_{SCADA_{22}}^{DMI} = A_{DBSRV} K_{SCADA_{221}}^{DMI}, K_{SCADA_{221}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (33)$$

$$K_{SCADA_{23}}^{DMI} = A_{DmnCTL} K_{SCADA_{231}}^{DMI}, K_{SCADA_{231}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (34)$$

$$K_{SCADA_3}^{DMI} = 1 - \bar{K}_{SCADA_3}^{DMI}, \quad (35)$$

$$\bar{K}_{SCADA_3}^{DMI} = \bar{K}_{SCADA_{31}}^{DMI} \bar{K}_{SCADA_{32}}^{DMI} \bar{K}_{SCADA_{33}}^{DMI} \bar{K}_{SCADA_{34}}^{DMI} \bar{K}_{SCADA_{35}}^{DMI} \bar{K}_{SCADA_{36}}^{DMI}, \quad (36)$$

$$\bar{K}_{SCADA_{31}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{31}}^{DMI}, \bar{K}_{SCADA_{32}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{32}}^{DMI}, \bar{K}_{SCADA_{33}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{33}}^{DMI}, \quad (37)$$

$$\bar{K}_{SCADA_{34}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{34}}^{DMI}, \bar{K}_{SCADA_{35}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{35}}^{DMI}, \bar{K}_{SCADA_{36}}^{DMI} = 1 - K_{SCADA_{36}}^{DMI}, \quad (38)$$

$$K_{SCADA_{31}}^{DMI} = A_{AuthSRV} K_{SCADA_{311}}^{DMI}, K_{SCADA_{311}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (39)$$

$$K_{SCADA_{32}}^{DMI} = A_{CTU} K_{SCADA_{321}}^{DMI}, K_{SCADA_{321}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (40)$$

$$K_{SCADA_{33}}^{DMI} = A_{EnprSRV} K_{SCADA_{331}}^{DMI}, K_{SCADA_{331}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (41)$$

$$K_{SCADA_{34}}^{DMI} = A_{WebSRV} K_{SCADA_{341}}^{DMI}, K_{SCADA_{341}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (42)$$

$$K_{SCADA_{35}}^{DMI} = A_{EmailSRV} K_{SCADA_{351}}^{DMI}, K_{SCADA_{351}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (43)$$

$$K_{SCADA_{36}}^{DMI} = A_{Pr oxySRV} K_{SCADA_{361}}^{DMI}, K_{SCADA_{361}}^{DMI} = K_{SCADA_{211}}^{DMI}, \quad (44)$$

де  $P_{ID}$  – ймовірність працездатного стану (ПРС) відповідної ресурсної компоненти, яка входить до складу кібернетичних або хмарних активів системи SCADA КІ, за умови, що здійснюється ЗВШВ у вигляді РЗІ (табл. 3, 4);  $P_{TI}$  – ймовірність ПРС відповідної ресурсної компоненти, яка входить до складу кібернетичних або хмарних активів системи SCADA КІ, за умови, що здійснюється ЗВШВ у вигляді ФСФ (табл. 3, 4);  $P_{SI}$  – ймовірність ПРС відповідної ресурсної компоненти, яка входить до складу кібернетичних або хмарних активів системи SCADA КІ, за умови, що здійснюється ЗВШВ у вигляді ПДМ (табл. 3, 4).

Для отримання оцінки комплексного показника гарантоздатності кібернетичних та хмарних активів системи SCADA КІ згідно співвідношень (1)–(44) на основі реалізації НПМ розроблено відповідний алгоритм. На рис. 19, 20 зображено розмічені графи переходів напівмарковських моделей (НПММ) з виродженими станами, які застосовуються для визначення ймовірностей трьох видів ЗВШВ. Процес побудови та обчислення вказаних НПММ з урахуванням необхідних формальних ознак описано в роботах [22,26,27].

---

**Алгоритм 1:** ОЦІНКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ГАРАНТОЗДАТНОСТІ КІБЕРНЕТИЧНИХ ТА ХМАРНИХ АКТИВІВ SCADA КІ

---

```
1 Визначення часу моделювання  $K_{SCADA}^{DMI}(T)$  як  $T = \sum_{i=1}^n t_i$ 
2 Ввод вхідних параметрів  $\lambda_{DMI_{max}}, \lambda_{DMI_{step}}, \lambda_{TP}, \lambda_{RK}$ 
3 Ввод вхідних параметрів  $t_{min}, t_{step}, A_{SCADA_i}, A_{AWS}$ 
5 for  $i = 1$  to  $n$  do
6    $\lambda_{DMI_i} = \lambda_{DMI_{max}} - i \cdot \lambda_{DMI_{step}}; c_i = \lambda_{DMI_i} + \lambda_{TP} + \lambda_{RK};$ 
7   for  $j = 1$  to  $m$  do
8      $T_j = t_{min} + j \cdot t_{step};$ 
9     Обчислення перехідних ймовірностей  $p_{SI_{ij}}$  для НПМ ПДМ;
10    Обчислення середнього часу  $t_{SI_{ij}}$  для НПМ ПДМ;
11    Визначення стаціонарних ймовірностей  $\pi_{SI_{ij}}$  та  $P_{SI}$ ;
12    Обчислення перехідних ймовірностей  $p_{ID_{ij}}$  для НПМ РЗІ;
13    Обчислення середнього часу  $t_{ID_{ij}}$  для НПМ РЗІ;
14    Визначення стаціонарних ймовірностей  $\pi_{ID_{ij}}$  та  $P_{ID}$ ;
15    Обчислення перехідних ймовірностей  $p_{TI_{ij}}$  для НПМ ФСФ;
16    Обчислення середнього часу  $t_{TI_{ij}}$  для НПМ ФСФ;
17    Визначення стаціонарних ймовірностей  $\pi_{TI_{ij}}$  та  $P_{TI}$ ;
18    Обчислення  $K_{SCADA_{i1}}^{DMI}, K_{SCADA_{i2}}^{DMI}, K_{SCADA_{i3}}^{DMI}, K_{SCADA_{i21}}^{DMI}, K_{SCADA_{i22}}^{DMI}, K_{SCADA_{i23}}^{DMI};$ 
19    Обчислення  $K_{SCADA_{i31}}^{DMI}, K_{SCADA_{i32}}^{DMI}, K_{SCADA_{i33}}^{DMI}, K_{SCADA_{i34}}^{DMI}, K_{SCADA_{i35}}^{DMI}, K_{SCADA_{i36}}^{DMI};$ 
20    Визначення  $K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$  для першого сценарію;
21    Визначення  $K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$  для другого сценарію;
22    Визначення  $K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$  для третього сценарію;
23    Визначення  $K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$  для четвертого сценарію;
24    Визначення  $K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$  для п'ятого сценарію;
25 end
26 end
27 meshgrid( $T_j, \lambda_{DMI_i}$ ); surf( $T_j, \lambda_{DMI_i}, K_{SCADA_{ij}}^{DMI}$ ); hold on; colorbar;
```

---

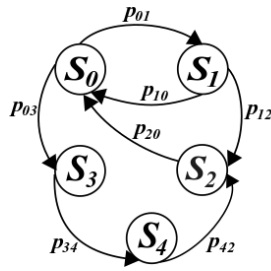


Рис. 19. Граф станів НПММ ЗВШВ у вигляді РЗІ та ФСФ для активів системи SCADA КІ [22,26]

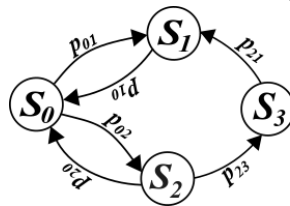


Рис. 20. Граф станів НПММ ЗВШВ у вигляді ПДМ для активів системи SCADA КІ [27]

За результатами НПМ отримано графічні залежності щодо реалізації ЗВШВ по відношенню до активів SCADA КІ, коли здійснюється розкриття, фальсифікація та підміна інформації. На рис. 21 відображено відповідні залежності.

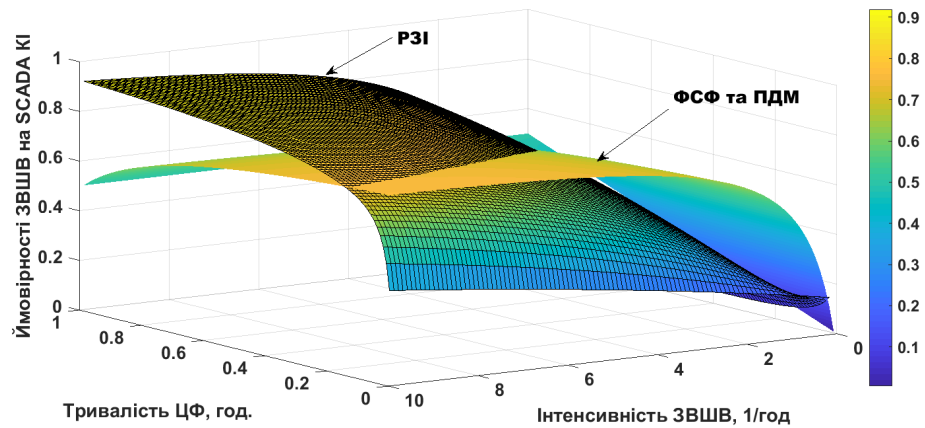


Рис. 21. Залежності ймовірності реалізації ЗВШВ у вигляді РЗІ, ФСФ та ПДМ для активів системи SCADA КІ

Результати моделювання на основі використання розробленого алгоритму 1 для отриманих п'ятьох сценаріїв ЗВШВ представлено на рис. 22–24. При відображенні результатів моделювання (рис. 22–24) значна увага приділялася визначенню залежностей між комплексним показником гарантоздатності кібернетичних, хмарних активів SCADA КІ та інтенсивністю ЗВШВ, тривалостями інтервалів часу, який витрачається на зміну ключів і цільовий фішинг.

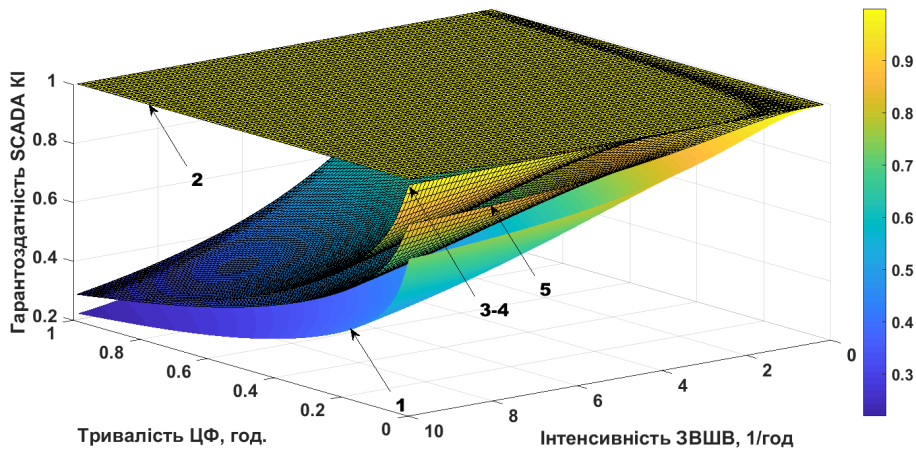


Рис. 22. Комплексний показник ГРТЗ активів SCADA КІ для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається три хвилини

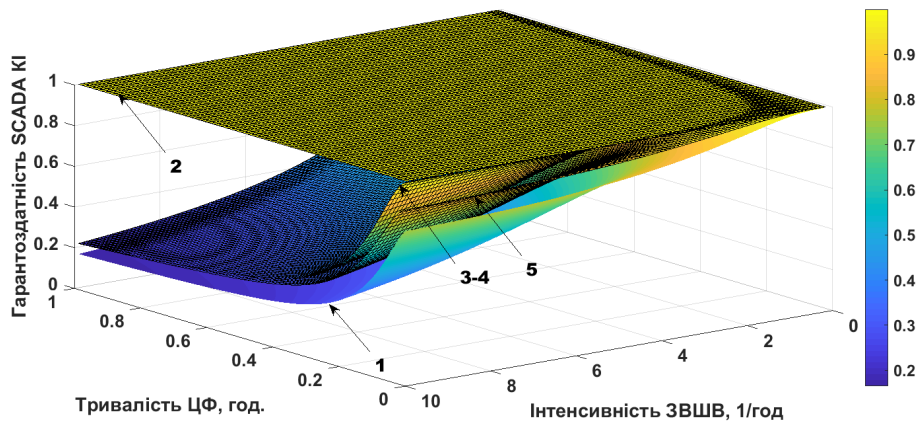


Рис. 23. Комплексний показник ГРТЗ активів SCADA КІ для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається тридцять хвилин

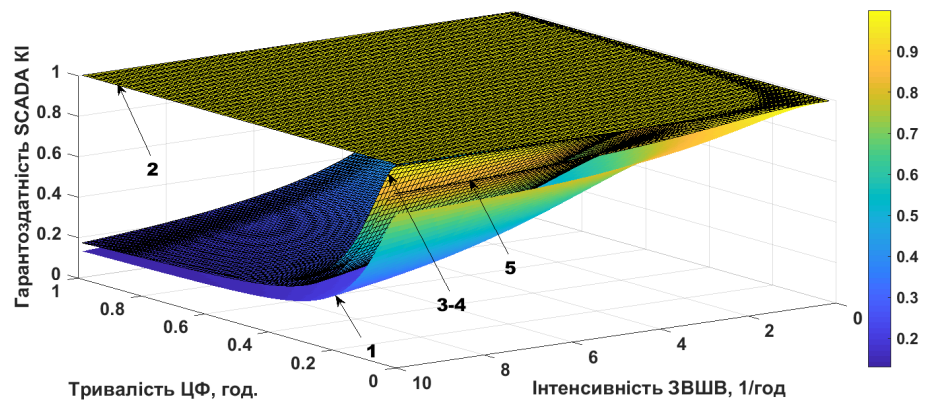


Рис. 24. Комплексний показник ГРТЗ активів SCADA KI для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається одна година

Динаміку зміни величини комплексного показника ГРТЗ для другого сценарію ЗВШВ (рис. 22–24) в залежності від інтенсивності зловмисного шкідливого впливу, тривалостей інтервалів часу, який витрачається на проведення цільового фішингу та зміну ключів відображено на рис. 25.

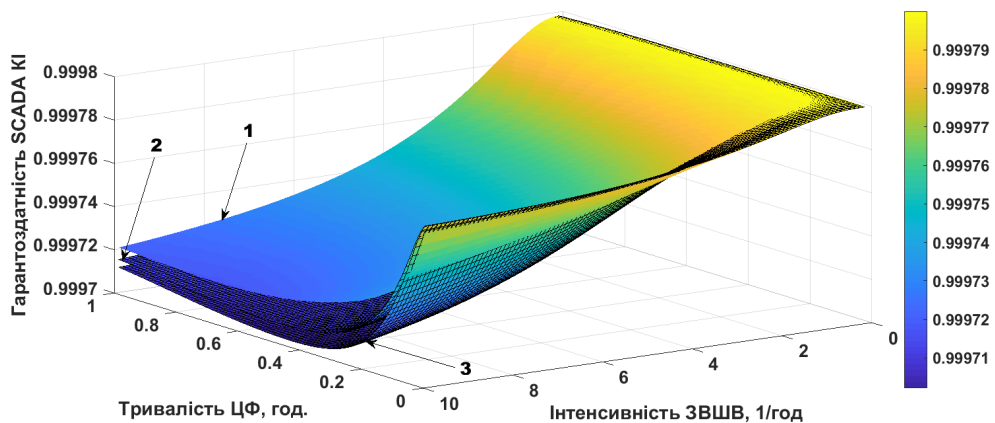


Рис. 25. Динаміка зміни величини комплексного показника ГРТЗ активів SCADA KI для другого сценарію ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається: 1 – три хвилини; 2 – тридцять хвилин; 3 – одна година

Оцінимо вигащ від використання ХМС при створенні хмарних активів SCADA КІ з урахуванням ЗВШВ шляхом обчислення стаціонарного коефіцієнта неготовності (простою) (СКНГ) по формулі

$$\overline{K}_{SCADA}^{DMI} = 1 - K_{SCADA}^{DMI} \cdot \quad (45)$$

Результати обчислення СКНГ кібернетичних та хмарних активів SCADA КІ представлено на рис. 26–28.

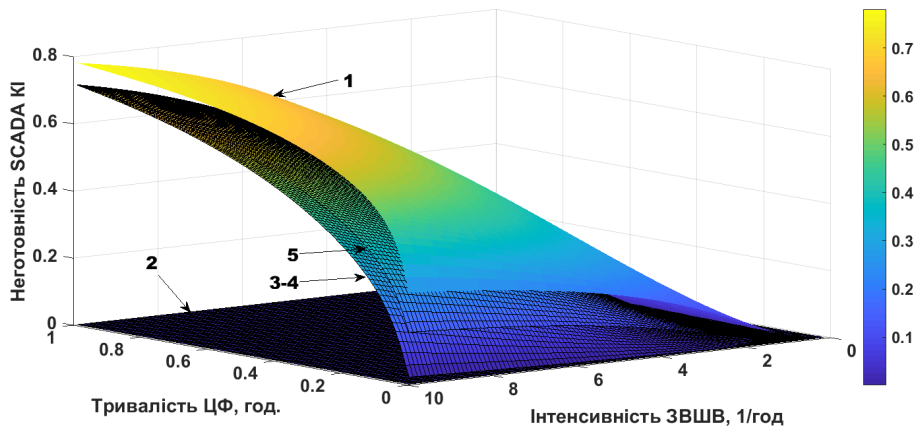


Рис. 26. Стаціонарний коефіцієнт неготовності активів SCADA КІ для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається три хвилини

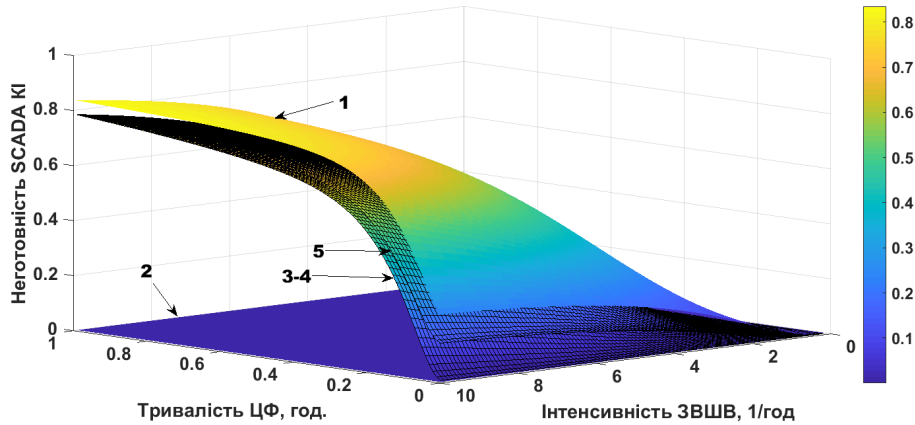


Рис. 27. Стаціонарний коефіцієнт неготовності активів SCADA КІ для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається тридцять хвилин



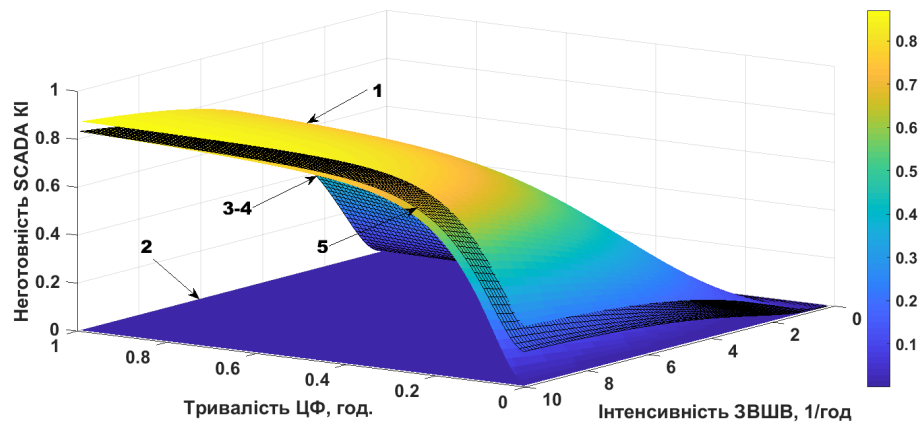


Рис. 28. Стаціонарний коефіцієнт неготовності активів SCADA КІ для 1–5-го сценаріїв ЗВШВ за умови, що на зміну ключів витрачається одна година

Для покращення наочного уявлення про отриманий виграш обчислимо абсолютну різницю між значеннями СКНГ для відповідних пар сценаріїв ЗВШВ, застосовуючи наступне співвідношення:

$$\Delta_{SCADA} = \left| \overline{K}_{SCADA_{k,h}}^{DMI} - \overline{K}_{SCADA_{2,h}}^{DMI} \right|, \quad (46)$$

де  $k=1,3,4,5$  – номери відповідних сценаріїв ЗВШВ;  $h$  – номер зрізу СКНГ, для якого виконується обчислення;  $\overline{K}_{SCADA_{2,h}}^{DMI}$  – значення  $h$ -го зрізу СКНГ для другого сценарію ЗВШВ.

Слід зазначити, що у співвідношенні (46) друга складова, яка визначає можливість отримання  $h$ -го зрізу СКНГ для другого сценарію ЗВШВ може бути замінена на іншу складову, що дозволяє отримати аналогічну оцінку для іншого сценарію. Результати обчислень з застосуванням співвідношень (45), (46) для конкретних сценаріїв ЗВШВ на активи SCADA КІ представлені на рис. 29–31. Ці результати отримано за умови, що тривалість цільового фішингу і час, який відводиться на зміну ключів (ЗМНК) становить три хвилини. Зазначені вхідні параметри обрано не даремно, а саме, виходячи з міркувань щодо необхідності створення найбільш жорстких умов реалізації ЗВШВ. А саме, вважається, що за досить невеликий час проведення ЦФ злоумисник здійснює атаку на КА та ХМА

---

системи SCADA KI з інтенсивністю ЗВШВ, яка дозволяє нанести максимальль-  
ної шкоди.

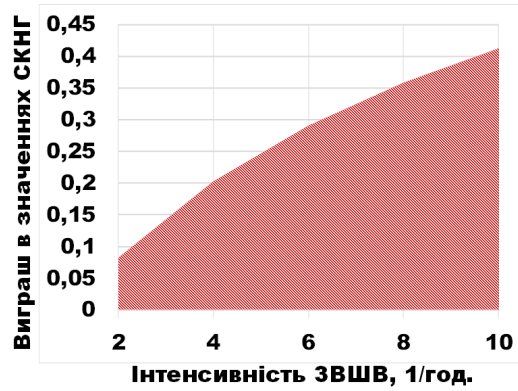


Рис. 29. Виграш в СКНГ для 2-го сценарію ЗВШВ у порівнянні з 1-м

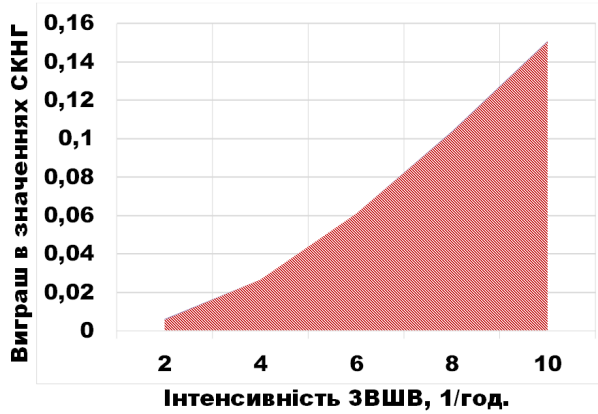


Рис. 30. Виграш в СКНГ для 2-го сценарію ЗВШВ у порівнянні з 3-м та 4-м

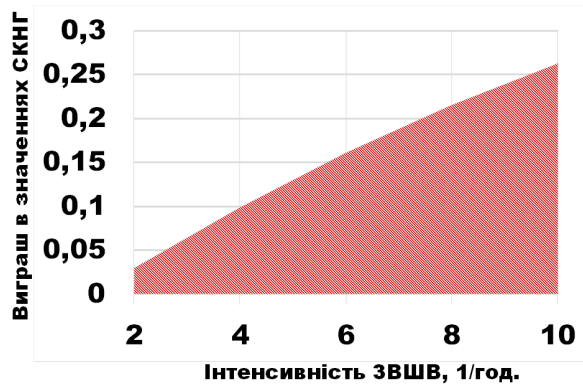


Рис. 31. Виграш в СКНГ для 2-го сценарію ЗВШВ у порівнянні з 5-м

Згідно рис. 29–31 найбільш критичною за результатами обчислення СКНГ є ситуація для ЗВШВ, що реалізується за першим сценарієм. Другими за критичністю є третій та четвертий сценарії з однаковим максимальним вигрaшем лише 15%. Тому будемо розглядати їх як один сценарій і отримаємо розрахунки вигрaшу в значеннях СКНГ, використовуючи аналогічний підхід, тобто за формулою

$$\Delta_{SCADA} = \left| \overline{K}_{SCADA_{r,h}}^{DMI} - \overline{K}_{SCADA_{3,h}}^{DMI} \right|, \quad (47)$$

де  $r=1,5$  – номери відповідних сценаріїв ЗВШВ;  $h$  – номер зрізу СКНГ, для якого виконується обчислення;  $\overline{K}_{SCADA_{3,h}}^{DMI}$  – значення  $h$ -го зрізу СКНГ для третього сценарію ЗВШВ.

На рис. 32, 33 представлено результати розрахунків з використанням співвідношень (45), (47).

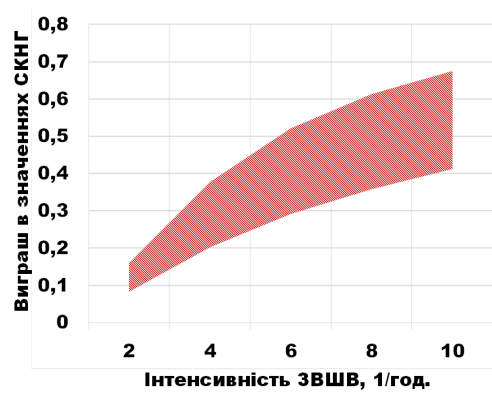


Рис. 32. Вигрaш в СКНГ для 3-го та 4-го сценаріїв ЗВШВ у порівнянні з 1-м

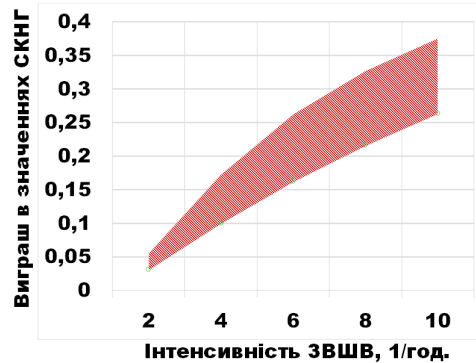


Рис. 33. Вигрaш в СКНГ для 3-го та 4-го сценаріїв ЗВШВ у порівнянні з 5-м

Порівняльний аналіз результатів моделювання (рис. 29–32) свідчить, що при використанні функцій післяаварійного відновлювання та копіювання, які виконуються завдяки застосуванню відповідних систем ХМА, значення стаціонарного коефіцієнта неготовності SCADA КІ в залежності від реалізуемого сценарію ЗВШВ зменшується від 41,2% до 11,25%. Узагальнені результати аналізу динаміки зміни величини СКНГ (тобто діапазон зменшення значень СКНГ), який визначає фактичний вигрощ в готовності кібернетичних та хмарних активів SCADA КІ для найбільш жорстких умов реалізації ЗВШВ відображено в табл. 5.

Таблиця 5.

**Аналіз динаміки зміни величини стаціонарного коефіцієнта неготовності системи SCADA КІ з урахуванням ЗВШВ на кібернетичні та хмарні активи**

| Порівняльна комбінація сценаріїв ЗВШВ     | Загальні параметри ЗВШВ |  | Тривалість процедури ЗМНК, хв. | Діапазон зменшення значень СКНГ (вигрощ) |
|---|-------------------------|--|--------------------------------|--|
|   | Тривалість ЦФ, хв.      | Максимальна інтенсивність ЗВШВ, 1/год. |                                |  |
| 1   | 2                       | 3                                      | 4                              | 5  |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) | 3                       | 10                                     | 3                              | 41,2%                                    |
|   |                         |  |                                | 15%                                      |
|   |                         |  |                                | 26,3%                                    |
|   |                         |  |                                | 26,2%                                    |
|   |                         |  |                                | 11,25%                                   |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) |                         |  | 10                             | 36,4%                                    |
|   |                         |  |                                | 10,1%                                    |
|   |                         |  |                                | 22%                                      |
|   |                         |  |                                | 26,3%                                    |
|   |                         |  |                                | 11,9%                                    |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) |                         |  | 30                             | 34,9%                                    |
|   |                         |  |                                | 8,7%                                     |
|   | 20,8%                   |  |                                |  |
|   | 26,2%                   |  |                                |  |
|   | 12,1%                   |  |                                |  |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) | 60                      | 36,6%                                  |                                |  |
|   |                         | 10,3%                                  |                                |  |
|   |                         | 22,2%                                  |                                |  |
|   |                         | 26,3%                                  |                                |  |
|   |                         | 11,9%                                  |                                |  |

Продовження таблиці 5.

| 1   | 2 | 3  | 4  | 5     |
|---|---|----|----|-------|
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) | 6 | 10 | 3  | 49,5% |
| 25%                                       |   |    |    |       |
| 34,6%                                     |   |    |    |       |
| 24,5%                                     |   |    |    |       |
| 9,5%                                      |   |    |    |       |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) |   |    | 10 | 48,4% |
| 23,7%                                     |   |    |    |       |
| 33,4%                                     |   |    |    |       |
| 24,7%                                     |   |    |    |       |
| 9,7%                                      |   |    |    |       |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) |   |    | 30 | 49,4% |
| 25%                                       |   |    |    |       |
| 34,5%                                     |   |    |    |       |
| 24,5%                                     |   |    |    |       |
| 9,5%                                      |   |    |    |       |
| (2;1)<br>(2;3)<br>(2;5)<br>(3;1)<br>(3;5) |   |    | 60 | 53,2% |
| 29,5%                                     |   |    |    |       |
| 38,5%                                     |   |    |    |       |
| 23,6%                                     |   |    |    |       |
| 9%  |   |    |    |       |

Отримані результати моделювання дозволяють сформулювати критерій забезпечення гарантоздатності КА та ХМА системи SCADA КІ, який записується у наступному вигляді:

$$\mathfrak{S} = \begin{cases} K_{SCADA}^{DMI}(t_{TP}, \tau_{RK}, \lambda_{DMI}) \geq K_{SCADA_0}^{DMI}; \\ t_{TP} \xrightarrow[t_{TP} \in [0; T]]{\lambda_{TP_{max}}} \rightarrow \min; \\ \tau_{RK} \xrightarrow[\tau_{RK} \in [0; T]]{\lambda_{RK_{max}}} \rightarrow \min; \\ \lambda_{DMI} \longrightarrow \max; \\ \Delta_{SCADA} \longrightarrow \max; \\ A_{SCADA_i}(T) \geq A_{SCADA_0}; \\ C_{min_0} \leq C_0 \leq C_{max_0}; \end{cases} \quad (48)$$

---

де  $T$  – загальний час застосування системи SCADA КІ за призначенням;  $t_{TP}$  – тривалість ЦФ;  $\tau_{RK}$  – тривалість процедури ЗМНК;  $\lambda_{DMI}$  – інтенсивність ЗВШВ;  $\lambda_{TP_{\max}}$  – максимальне значення інтенсивності ЦФ;  $\lambda_{RK_{\max}}$  – максимальне значення інтенсивності процедури ЗМНК;  $A_{SCADA_0}$  – граничні припустимі значення СКГ  $i$ -их компонентних складових системи SCADA КІ, які відповідають рівням готовності HAL [22];  $C_0 \in [C_{\min_0}; C_{\max_0}]$  – граничні витрати необхідні на підтримання необхідного рівня гарантоздатності КА та ХМА системи SCADA КІ;  $K_{SCADA_0}^{DMI}$  – граничне припустиме значення комплексного показника гарантоздатності КА та ХМА системи SCADA КІ.

В системі умов та обмежень (48) поточне значення комплексного показника гарантоздатності  $K_{SCADA}^{DMI}(t_{TP}, \tau_{RK}, \lambda_{DMI})$  SCADA КІ визначається у відповідності зі співвідношеннями (1)–(44) за результатами напівмарковського моделювання.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі.**

Таким чином, в розглянутій статті запропоновано застосування додаткових ХМС з метою створення відповідних активів, що посилюють захисні властивості системи SCADA КІ від трьох видів зловмисних шкідливих впливів, за допомогою яких здійснюється розкриття, фальсифікація та підміна інформації. Процес моделювання самих шкідливих впливів на кібернетичні та хмарні активи SCADA було реалізовано як напівмарковський у відповідності з п'ятьма можливими сценаріями ЗВШВ. Розвиток негативних подій згідно розроблених сценаріїв відображено за допомогою діаграм ЗВШВ (рис. 4–12).

У якості комплексного показника гарантоздатності КА та ХМА системи SCADA КІ застосовувався стаціонарний коефіцієнт готовності. Виграш щодо реалізації захисних заходів від дії ЗВШВ на основі використання ХМС оцінювався за допомогою стаціонарного коефіцієнта неготовності (рис. 29–33). За результатами аналітико-стохастичного моделювання встановлено, що реалізація захисних заходів для кібернетичних активів SCADA КІ від зловмисних шкідливих впливів на основі застосування хмарних систем (перевага віддається, як правило, системам AWS) дозволяє знизити значення стаціонарного коефіцієнта неготовності в залежності від реалізуємого сценарію ЗВШВ на 8,7– 49,5% (табл. 5).

---

Перспективи подальших досліджень пов'язані з використанням запропонованої аналітико-стохастичної моделі для розробки заходів, інформаційних технологій по забезпеченню готовності та гарантоздатності активів системи SCADA KI. Крім того, описаний в статті науково-методичний апарат в перспективі планується застосовувати для вибору найкращої архітектурної реалізації SCADA KI за критерієм забезпечення гарантоздатності її кібернетичних та хмарних активів.

Результати досліджень отримані в рамках науково-дослідних робіт «Методологічні засади та технології оцінювання та забезпечення безпеки (захисту) критичних інформаційних інфраструктур» (державний реєстраційний номер: 0119U100979) та «Методологія сталого розвитку та інформаційні технології зеленого комп'ютингу та комунікацій» (державний реєстраційний номер: 0118U003822), які виконуються Національним аерокосмічним університетом ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

#### **Список використаних джерел:**

1. Ruijters, E., Stoelinga, M.: Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer science review* 15, 29-62 (2015).
2. Kumar, R, Stoelinga, M.: Quantitative Security and Safety Analysis with Attack-Fault Trees. In: 2017 IEEE 18th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE), pp. 25-32. Singapore (2017). doi: 10.1109/HASE.2017.12.
3. Jürjens, J.: UMLsec: Extending UML for secure systems development. In: International Conference on The Unified Modeling Language, pp. 412-425. Springer, Berlin, Heidelberg (2002).
4. Roudier, Y., Apvrille, L.: SysML-Sec: A model driven approach for designing safe and secure systems. In: 2015 3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD), pp. 655-664. Angers (2015).
5. Hermanns, H, Kramer, J, Krcal, J and Stoelinga, M.: The Value of Attack-Defence Diagrams. In: 5th International Conference on Principles of Security and Trust, POST, pp. 163-165. Springer, Berlin, Heidelberg (2016).
6. Kumar, R., Ruijters, E. and Stoelinga, M.: Quantitative attack tree analysis via priced timed automata. In: 13th International Conference on Formal Modeling and Analysis of Timed Systems, FORMATS, pp. 156-171. Springer, Cham (2015).

- 
7. Kriaa, S., Cambacedes, L, Bouissou, M. and Halgand, Y.: A survey of approaches combining safety and security for industrial control systems. *Reliability Engineering & System Safety* 139, pp. 156-178 (2015).
  8. Popov, P.: Stochastic modeling of safety and security of the e-motor, an ASIL-D device. In: 34th International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security, SAFECOMP 2015, pp. 385-399. Delft University of Technology, Netherlands (2014).
  9. Ten, C., Liu, C., Manimaran, G.: Vulnerability assessment of cybersecurity for SCADA systems. *IEEE Transactions on Power Systems* 23(4), 1836-1846 (2008).
  10. Liu, X. and Li, Z.: Trilevel Modeling of Cyber Attacks on Transmission Lines. *IEEE Transactions on Smart Grid* 8(2), 720-729 (2017). doi: 10.1109/TSG.2015.2475701.
  11. Kumar, P., Singh, L. K., and Kumar, C.: Suitability analysis of software reliability models for its applicability on NPP systems. *Quality and Reliability Engineering International* 34(8), pp. 1491-1509 (2018).
  12. Xiang, J., Weng, C., Zhao, D. et al.: Software aging and rejuvenation in android: new models and metrics. *Software Quality Journal* 28, 85-106 (2020). doi: 10.1007/s11219-019-09475-0.
  13. Huo, S., Zhao, D., Liu, X., Xiang, J., Zhong, Y. and Yu, H.: Using machine learning for software aging detection in Android system. In: 2018 Tenth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), pp. 741-746. Xiamen (2018). doi: 10.1109/ICACI.2018.8377553.
  14. Gribaudo, M., Pinciroli, R., and Trivedi, K.: Epistemic uncertainty propagation in power models. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 337, 67-86 (2018).
  15. Xia, Y., Zhou, M., Luo, X., Pang, S. and Zhu, Q.: A Stochastic Approach to Analysis of Energy-Aware DVS-Enabled Cloud Datacenters. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 45(1), pp. 73-83 (2015).
  16. da Silva Pinheiro, Silva, T, Fé, F., Kosta, I., and Maciel, P.: Performance prediction for supporting mobile applications' offloading. *The Journal of Supercomputing* 74(8), pp. 4060-4103 (2018).
  17. Ivanchenko, O., Kharchenko, V., Moroz, B., Kabak, L., and Konovalenko, S.: Risk Assessment of Critical Energy Infrastructure Considering Physical and Cyber Assets: Methodology and Models. In: 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), pp. 225-228. Lviv (2018). doi: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525594.



- 
18. Liang, S., He, C., Fang, W., Zhou, Z., Li, Y., and Wang, Y.: A SCADA platform architecture for cloud-based micro-service system with real time data process. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, p. 042056. IOP Publishing (2019).
  19. Scott, P.: Distributed Coordination and Optimisation of Network-Aware Electricity Prosumers. Ph.D. The Australian National University (2016).
  20. Ahmed, I., Obermeier, S., Naedele, M., Richard III, G. G.: SCADA Systems: Challenges for Forensic Investigators. *Computer* 45(12), pp. 44-51 (2012).
  21. Fairley, P.: Cybersecurity at U.S. utilities due for an upgrade: Tech to detect intrusions into industrial control systems will be mandatory [News]. *IEEE Spectrum* 53(5), 11-13 (2016). doi: 10.1109/MSPEC.2016.7459104.
  22. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения : навчальний посібник / за заг. ред. В. С. Харченка. – Харків : Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2011. – 641 с.
  23. Іванченко О. В. Аналітико-стохастичний метод побудови структурних схем безпеки кібернетичних активів системи SCADA критичної інфраструктури / О. В. Іванченко // Системи та технології. – 2019. – № 1(57). – С. 81–106.
  24. Іванченко О. В. Оцінювання рівня безпеки системи SCADA критичної інфраструктури з урахуванням доступності кібернетичних і хмарних активів / О. В. Іванченко // Системи та технології. – 2019. – № 2(58). – С. 5–32.
  25. Matos R., Araujo J., Oliveira D., Maciel P., Trivedi K.: Sensitivity analysis of a hierarchical model of mobile cloud computing. *Simulation Modelling Practice and Theory* 50, 151-164 (2015).
  26. Распределённые критические системы и инфраструктуры : практикум / [О. В. Иванченко, В. С. Ловягин, Е. Н. Мащенко та ін.] ; за заг. ред. А. В. Скаткова, В. С. Харченка. – Харків : Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Севастопольський національний технічний університет, 2013. – 179 с.
  27. Ivanchenko, O., Kharchenko, V., Brezhnev, E., Ponochovnyi, Y., Moroz, B. and Kabak, L.: Dependability Assessment for SCADA System Considering Usage of Cloud Resources. In: 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), pp. 13-17. IEEE Press, Kyiv, Ukraine (2020). doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125052.

### References:

1. Ruijters, E., Stoelinga, M.: Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer science review* 15, 29-62

---

(2015).

2. Kumar, R, Stoelinga, M.: Quantitative Security and Safety Analysis with Attack-Fault Trees. In: 2017 IEEE 18th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE), pp. 25-32. Singapore (2017). doi: 10.1109/HASE.2017.12.

3. Jürjens, J.: UMLsec: Extending UML for secure systems development. In: International Conference on The Unified Modeling Language, pp. 412-425. Springer, Berlin, Heidelberg (2002).

4. Roudier, Y., Apvrille, L.: SysML-Sec: A model driven approach for designing safe and secure systems. In: 2015 3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD), pp. 655-664. Angers (2015).

5. Hermanns, H, Kramer, J, Krcal, J and Stoelinga, M.: The Value of Attack-Defence Diagrams. In: 5th International Conference on Principles of Security and Trust, POST, pp. 163-165. Springer, Berlin, Heidelberg (2016).

6. Kumar, R., Ruijters, E. and Stoelinga, M.: Quantitative attack tree analysis via priced timed automata. In: 13th International Conference on Formal Modeling and Analysis of Timed Systems, FORMATS, pp. 156-171. Springer, Cham (2015).

7. Kriaa, S., Cambacedes, L, Bouissou, M. and Halgand, Y.: A survey of approaches combining safety and security for industrial control systems. Reliability Engineering & System Safety 139, pp. 156-178 (2015).

8. Popov, P.: Stochastic modeling of safety and security of the e-motor, an ASIL-D device. In: 34th International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security, SAFECOMP 2015, pp. 385-399. Delft University of Technology, Netherlands (2014).

9. Ten, C., Liu, C., Manimaran, G.: Vulnerability assessment of cybersecurity for SCADA systems. IEEE Transactions on Power Systems 23(4), 1836-1846 (2008).

10. Liu, X. and Li, Z.: Trilevel Modeling of Cyber Attacks on Transmission Lines. IEEE Transactions on Smart Grid 8(2), 720-729 (2017). doi: 10.1109/TSG.2015.2475701.

11. Kumar, P., Singh, L. K., and Kumar, C.: Suitability analysis of software reliability models for its applicability on NPP systems. Quality and Reliability Engineering International 34(8), pp. 1491-1509 (2018).

12. Xiang, J., Weng, C., Zhao, D. et al.: Software aging and rejuvenation in android: new models and metrics. Software Quality Journal 28, 85-106 (2020). doi: 10.1007/s11219-019-09475-0.

13. Huo, S., Zhao, D., Liu, X., Xiang, J., Zhong, Y. and Yu, H.: Using machine learning for software aging detection in Android system. In: 2018 Tenth

---

International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), pp. 741-746. Xiamen (2018). doi: 10.1109/ICACI.2018.8377553.

14. Gribaudo, M., Pinciroli, R., and Trivedi, K.: Epistemic uncertainty propagation in power models. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 337, 67-86 (2018).

15. Xia, Y., Zhou, M., Luo, X., Pang, S. and Zhu, Q.: A Stochastic Approach to Analysis of Energy-Aware DVS-Enabled Cloud Datacenters. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 45(1), pp. 73-83 (2015).

16. da Silva Pinheiro, Silva, T, Fé, F., Kosta, I., and Maciel, P.: Performance prediction for supporting mobile applications' offloading. *The Journal of Supercomputing* 74(8), pp. 4060-4103 (2018).

17. Ivanchenko, O., Kharchenko, V., Moroz, B., Kabak, L., and Konovalenko, S.: Risk Assessment of Critical Energy Infrastructure Considering Physical and Cyber Assets: Methodology and Models. In: 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), pp. 225-228. Lviv (2018). doi: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525594.

18. Liang, S., He, C., Fang, W., Zhou, Z., Li, Y., and Wang, Y.: A SCADA platform architecture for cloud-based micro-service system with real time data process. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, p. 042056. IOP Publishing (2019).

19. Scott, P.: Distributed Coordination and Optimisation of Network-Aware Electricity Prosumers. Ph.D. The Australian National University (2016).

20. Ahmed, I., Obermeier, S., Naedele, M., Richard III, G. G.: SCADA Systems: Challenges for Forensic Investigators. *Computer* 45(12), pp. 44-51 (2012).

21. Fairley, P.: Cybersecurity at U.S. utilities due for an upgrade: Tech to detect intrusions into industrial control systems will be mandatory [News]. *IEEE Spectrum* 53(5), 11-13 (2016). doi: 10.1109/MSPEC.2016.7459104.

22. Kharchenko, V. (Edit): *Critical Infrastructures Safety: Mathematical and Engineering Methods of Analysis and Assurance*, Department of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University named after N. Zhukovsky "KhAI" (2011).

23. Ivanchenko, O.V.: Analytical and stochastic method in order to build safety and security block diagrams of cyber assets of SCADA system for critical infrastructure. *J. Systems and Technologies* 1(57), 81-106. doi: 10.32836/2521-6643-2019-1-57-6.

24. Ivanchenko, O.V.: Safety assessment for SCADA system of a critical infrastructure considering availability of cyber and cloud assets. *J. Systems and Technologies* 2(58), 5-32. doi: 10.32836/2521-6643-2019-2-58-1.

---

25. Matos R., Araujo J., Oliveira D., Maciel P., Trivedi K.: Sensitivity analysis of a hierarchical model of mobile cloud computing. *Simulation Modelling Practice and Theory* 50, 151-164 (2015).

26. Ivanchenko, O., Lovyagin, V., Maschenko, E., Skatkov, A., Shevchenko, V.: *Distributed critical systems and infrastructures*. National Aerospace University named after N. Zhukovsky “KhAI”, Kharkiv (2013).

27. Ivanchenko, O., Kharchenko, V., Brezhnev, E., Ponochovnyi, Y., Moroz, B. and Kabak, L.: Dependability Assessment for SCADA System Considering Usage of Cloud Resources. In: *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 13-17. IEEE Press, Kyiv, Ukraine (2020). doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125052.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.1-59.3>  
УДК 629.7.014-519.064.5-022.332:621.311.25-047.36

**Г. В. Фесенко**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

## **ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОГО ОБ'ЄКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ФЛОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Сучасний стан розвитку безпілотної авіації та мініатюризація спеціального бортового обладнання безпілотної літальних апаратів (БПЛА), роблять їх ефективним інструментом підвищення надійності, живучості та розширення можливостей штатних систем моніторингу атомних електростанцій (АЕС) та інших потенційно небезпечних об'єктів (ПНО). БПЛА здатні виконувати функції засобів вимірювання та розгортати багатоканальні бездротові мережі зв'язку між засобами вимірювання та кризовими центрами. Метою статті є розробка теоретико-множинної моделі системи моніторингу ПНО з використанням багатоцільового флоту безпілотної літальних апаратів на прикладі системи моніторингу Запорізької атомної станції (АЕС). Побудована загальна структурна схема системи моніторингу ПНО та розроблена теоретико-множинна модель на її основі. Сформульовані рекомендації щодо корегування моделі у разі розгортання багатоцільового флоту БПЛА. Відзначено, що для формування багатоцільового флоту БПЛА необхідно володіти інформацією про: засоби вимірювання, функції яких можуть виконувати БПЛА; об'єкти системи моніторингу ПНО, між якими розгортаються бездротові канали, кількість таких каналів, бездротові технології, що використовуються; протяжність бездротової мережі; додаткові функції, які повинен виконувати багатоцільовий флот (фото, відео, тепловізійний моніторинг тощо); кількість змін БПЛА для забезпечення безперебійної роботи утворюваних ними бездротових каналів та виконання інших завдань після аварійного моніторингу. Показано процес розробки теоретико-множинної моделі та здійснення її корегування після розгортання багатоцільового флоту БПЛА на прикладі системи*

© Г. В. Фесенко, 2020

---

моніторингу Запорізької АЕС. Визначені можливості флоту, зокрема щодо утворення шістнадцяти бездротових мереж і виконання функцій повітряних станцій радіаційного й метеорологічного контролю. Показано варіант розгортання багатопільового флоту у складі п'яти груп БПЛА та однієї повітряної станції радіаційного контролю для виконання функцій засобів вимірювання й каналів зв'язку, що відмовили внаслідок аварії на АЕС.

Ключові слова: теоретико-множинна модель, безпілотний літальний апарат, потенційно небезпечний об'єкт, система моніторингу, кризовий центр, бездротова мережа.

Статья посвящена разработке теоретико-множественной модели системы мониторинга потенциально опасного объекта (ПОО) с использованием многоцелевого флота беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Построена общая структурная схема системы мониторинга ПОО и разработана теоретико-множественная модель на ее основе. Сформулированы рекомендации по корректировке модели в случае развертывания многоцелевого флота БПЛА. Показан процесс разработки теоретико-множественной модели и осуществления ее корректировки после развертывания многоцелевого флота БПЛА на примере системы мониторинга Запорожской атомной станции (АЭС). Определены возможности многоцелевого флота и показан вариант его развертывания в составе пяти групп БПЛА и одной воздушной станции радиационного контроля для выполнения функций средств измерения и каналов связи, отказавших в результате аварии на АЭС.

Ключевые слова: теоретико-множественная модель, беспилотный летательный аппарат, потенциально опасный объект, система мониторинга, кризисный центр, беспроводная сеть.

*The current state of development of unmanned aerial vehicles (UAVs) and the miniaturization of special on-board equipment of them make them an effective tool for improving the reliability, survivability and capacity of regular monitoring systems for nuclear power plants (NPP) and other potentially dangerous objects (PDOs). UAVs are able to perform the functions of measuring instruments and deploy multi-channel wireless communication networks between measuring instruments and crisis centers. The aim of the paper is to develop a set-theoretic model of the PDO monitoring system using a multi-purpose fleet of UAVs on the example of the Zaporizhzhia NPP monitoring system. The general structural scheme of the PDO monitoring system is constructed and the set-theoretical model based on it is developed. Recommendations for model adjustment in case of deployment of a multi-purpose UAV fleet are formulated. It is noted that for the*

---

*formation of a multi-purpose fleet of UAVs it is necessary to have information about: measuring instruments, the functions of which can be performed by UAVs; objects of the PDO monitoring system, between which wireless channels are deployed; the number of the channels, wireless technologies used; the length of the wireless network; additional functions to be performed by the multi-purpose fleet (photos, videos, thermal imaging monitoring, etc.); the number of UAV shifts to ensure uninterrupted operation of the wireless channels formed by them and to perform other tasks of the post-accident monitoring. The process of developing a set-theoretic model and its correction after the deployment of a multi-purpose UAV fleet is shown on the example of the Zaporizhzhia NPP monitoring system. The capabilities of the fleet have been identified, in particular regarding the formation of sixteen wireless networks and the performance of the functions of air stations for radiation and meteorological monitoring. The deployment of a multi-purpose fleet consisting of five groups of UAVs and one airborne radiation control station to perform the functions of measuring instruments and communication channels that failed due to a nuclear accident is shown.*

*Keywords: set-theoretic model, unmanned aerial vehicle, potentially dangerous object, monitoring system, crisis center, wireless network.*

**Вступ.** На сьогоднішній день в Україні налічується біля 26,5 тисяч потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), більшість з яких характеризуються великою імовірністю виникнення аварій внаслідок низького рівня безпеки виробництва, недостатньої підготовки кадрового ресурсу й застарілих технологій. Серед таких об'єктів особливо місце посідають атомні електростанції (АЕС), на яких, не дивлячись на постійне зростання рівня культури безпеки та постійне підвищення рівня надійності ядерної техніки й технологій, імовірність виникнення аварійних ситуацій залишається достатньо високою, про що свідчить, зокрема, аварія на японській АЕС Фукусіма-1. У разі виникнення аварій штатні дротові та радіомережі зв'язку можуть виходити з ладу, створюючи дефіцит моніторингової інформації і ускладнюючі тим самим процес реагування на радіаційну аварію. Крім того, можуть відмовляти технічні засоби контролю параметрів безпеки й стану систем реакторної установки системи аварійного та післяаварійного моніторингу (ПАМС), а також технічні засоби радіаційного й метеорологічного контролю автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО).

Сучасний стан розвитку безпілотної авіації й мініатюризація спеціального бортового обладнання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) роблять їх ефективним інструментом підвищення надійності, живучості та розши-

---

рення можливостей штатних систем моніторингу АЕС та інших ПНО (СМ АЕС і ПНО). БПЛА здатні виконувати функції засобів вимірювання (ЗВ) та розгортати багатоканальні бездротові мережі зв'язку між штатними непошкодженими ЗВ та кризовими центрами (КЦ). Крім того, застосування БПЛА в складі АСКРО дозволить значно розширити перелік специфічних завдань, що вирішуються в рамках збору даних про радіаційну обстановку, а саме: здійснювати радіаційне картографування місцевості й пошук джерел радіоактивного випромінювання, відбирати проби та визначати маршрути з найменшим рівнем радіаційного забруднення для проведення евакуації чи введення сил і засобів ліквідації радіаційної аварії.

**Постановка задачі.** Аналіз останніх публікацій вітчизняних та закордонних авторів з питань використання БПЛА для моніторингу АЕС та інших ПНО показує, що вони розподіляються на публікації, присвячені питанням:

– використання БПЛА для вимірювання потужності дози гамма-випромінювання, радіаційного картографування місцевості, здійснення дистанційного відеоспостереження й фотографування підстильної поверхні у важкодоступних місцях або зонах періодичного контролю під час радіаційних аварій [1-4];

– розширення функцій штатних АСКРО [5, 6];

– доставки в зону радіоактивного забруднення наземних тимчасових автоматизованих пристроїв контролю факторів небезпеки за допомогою БПЛА з розробкою схеми покриття зони радіаційного забруднення касетним та одиночним способами доставки пристроїв контролю [7];

– створення багатоверсійних систем моніторингу з використанням технологій Інтернету дронів з висвітленням питань забезпечення надійності й живучості СМ ПНО з використанням багатоцільових флотів (БЦФ) БПЛА, а також питань планування їх застосування [8-10].

І хоча вказані публікації охоплюють великий спектр проблем використання БПЛА під час моніторингу АЕС та інших ПНО, у них не здійснювався теоретико-множинний опис СМ таких об'єктів у разі застосування БЦФ.

**Мета.** Метою статті є розробка теоретико-множинної моделі СМ ПНО з використанням БЦФ БПЛА на прикладі СМ Запорізької АЕС.

**Результати дослідження.** Як правило, СМ ПНО має у своєму складі дві підсистеми моніторингу (ПСМ), з яких одна відповідає за контроль па-



раметрів безпеки технологічного обладнання й виробничого середовища у приміщеннях ПНО, а інша, за допомогою спеціальних постів контролю (ПК), здійснює на прилеглий території вимірювання параметрів, що характеризують ступень забруднення навколишнього середовища та метеорологічні умови. Структурна схема СМ ПНО у загальному вигляді представлена на рис. 1. Відзначимо, що ця схема є базовою й може мати у своєму складі додаткові засоби й канали зв'язку в залежності від специфіки виконуваних цією системою завдань.

Виходячи з рис. 1, СМ ПНО може бути описана наступною множиною елементів:

$$СМ ПНО = \left\langle \begin{array}{l} ПСМ А, ПСМ В, КЦ, ЗМ А, ЗМ В, С, \\ ПЗОІ, W_{С-ПЗОІ}, W_{ПЗОІ-КЦ}, ПК, D, ОбС, W_{D-ОбС}, \\ W_{ОбС-ЦПК}, W_{ЦПК-КЦ} \end{array} \right\rangle, \quad (1)$$

де *ПСМ А* – ПСМ, що здійснює моніторинг у приміщеннях ПНО;

*ПСМ В* – ПСМ, що здійснює моніторинг на території, що прилягає до ПНО;

*КЦ* – кризовий центр;

*ЗМ А* – множина зон моніторингу (ЗМ) ПСМ А:

$$ЗМ А = \{ЗМ Ai\}, \quad (2)$$

де  $i = \overline{1, n}$ ;

*ЗМ В* – множина ЗМ ПСМ В:

$$ЗМ В = \{ЗМ Bj\}; \quad (3)$$

*С* – множина ЗВ ПСМ А:

$$С = \{ci\_a(Ai)\}, \quad (4)$$

де  $a(Ai) = \overline{1, a(Ai)}$ ;

*ПЗОІ* – множина пристроїв збору та обробки інформації (ПЗОІ) ПСМ А:

$$ПЗОІ = \{ПЗОІi\}, i = \overline{1, n}; \quad (5)$$

$W_{С-ПЗОІ}$  – множина каналів зв'язку між ЗВ і ПЗОІ у складі ПСМ А:

$$W_{С-ПЗОІ} = \{W_{Ci\_a(Ai)-ПЗОІi}\}; \quad (6)$$

$W_{ПЗОІ-КЦ}$  – множина каналів зв'язку між ПЗОІ та КЦ:

$$W_{ПЗОІ-КЦ} = \{w_{ПЗОІ, КЦ}\}; \quad (7)$$

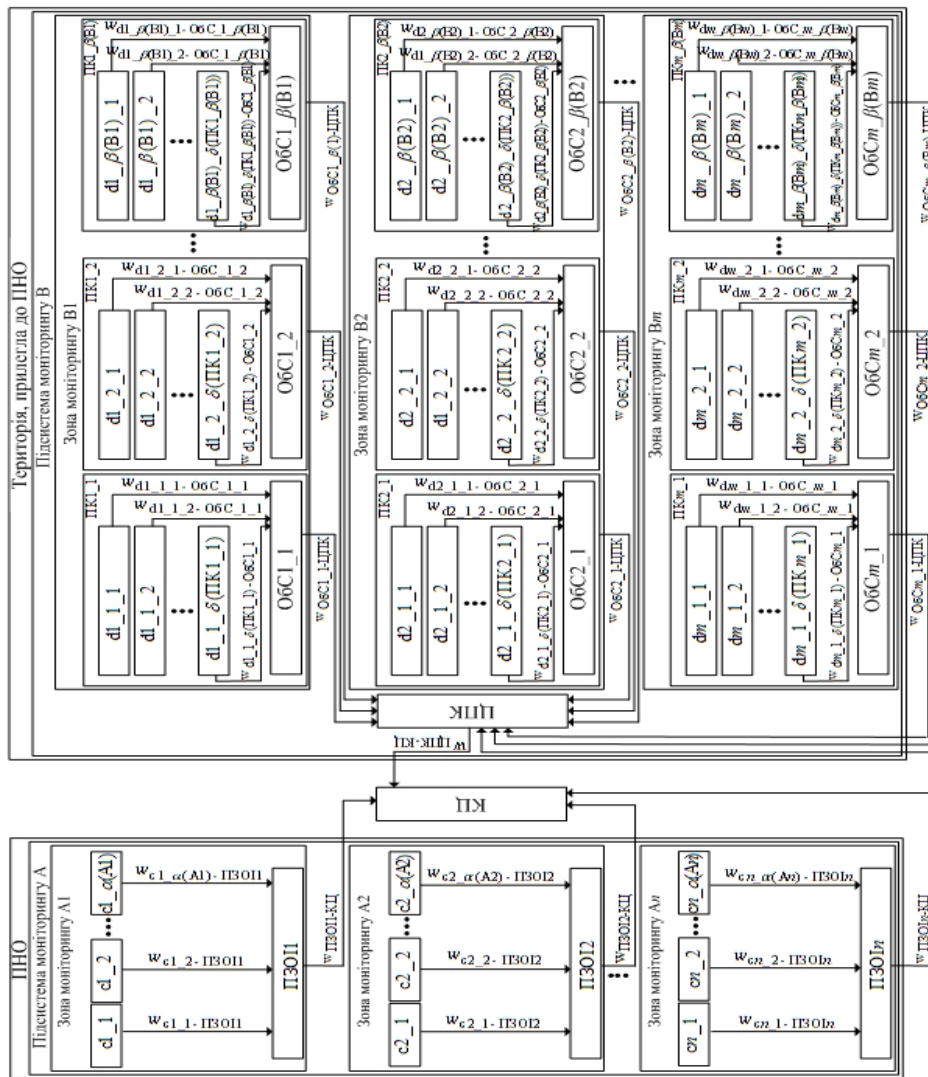


Рис. 1. Структурна схема СМ ПНО

ПК – множина ПК у складі ПСМ В:

$$ПК = \{ПК_j_b(B_j)\}, \quad (8)$$

де  $b(B_j) = \overline{1, b(B_j)}$ ;

D – множина ЗВ ПК ПСМ В:

$$D = \{dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))\}, \quad (9)$$

де  $k(ПКj\_b(Bj)) = 1, d(ПКj\_b(Bj))$ ;

ОбС – множина обчислювальних систем (ОбС) ПК ПСМ В:

$$ОбС = \{ОбСj\_b(j)\}; \quad (10)$$

$W_{D-ОбС}$  – множина каналів зв'язку між ЗВ та ОбС ПК:

$$W_{D-ОбС} = \{w_{dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))-ОбСdj\_b(Bj)}\}; \quad (11)$$

$W_{ОбС-ЦПК}$  – множина каналів зв'язку між ОбС ПК та центральним пунктом контролю (ЦПК) ПСМ В:

$$W_{ОбС-ЦПК} = \{w_{ОбСj\_b(Bj)-ЦПК}\}; \quad (12)$$

$w_{ЦПК-КЦ}$  – канал зв'язку між ЦПК та КЦ.

У разі виникнення аварії на ПНО для підвищення живучості, надійності та розширення функцій його СМ може розгортатися багатоцільовий флот БПЛА (БЦФ).

Застосування БЦФ дозволяє одиничним БПЛА або їх групам у повному обсязі або частково брати на себе функції певних засобів вимірювання та каналів зв'язку, які відмовили внаслідок аварії.

Варто відзначити, що, як правило, одиничний БПЛА може брати на себе функції декількох непрацевдатних ЗВ, а група БПЛА – забезпечувати утворення одного та більше бездротових каналів зв'язку (в тому числі з використанням різних бездротових технологій або їх комбінацій) замість одного непрацевдатного дротового (радіо) каналу. Для реалізації вказаних функцій відповідні елементи СМ ПНО оснащуються необхідним комунікаційним обладнанням.

Для визначення якісного та кількісного складу БПЛА у складі БЦФ необхідно, як правило, володіти наступною інформацією:

– функції яких саме засобів вимірювання дозволяє виконувати бортове обладнання конкретного БПЛА;

– яку кількість бездротових каналів зв'язку й з використанням яких технологій необхідно утворити між ПЗОІ / ЦПК / ОбС і КЦ та між ОбС і ЦПК;

– якою є відстань між ПЗОІ / ЦПК / ОбС і КЦ та між ОбС і ЦПК (для визначення кількості БПЛА у складі групи, що забезпечує бездротовий канал між ними);

---

– які саме додаткові функції післяаварійного моніторингу покладаються на БЦФ з урахуванням можливості виконання одним БПЛА декількох таких функцій;

– якою повинна бути кількість змін БПЛА для забезпечення безперебійної роботи утворюваних ними бездротових каналів та виконання інших завдань післяаварійного моніторингу;

– види резервування БПЛА та їх груп тощо.

У разі розгортання БЦФ в інтересах СМ ПНО теоретико-множинна модель, представлена виразом (1), потребуватиме корегування шляхом введення до неї груп БПЛА розгорнутого БЦФ, а також шляхом позначення ЗВ та каналів зв'язку СМ ПНО, що перебувають у непрацездатному стані, знаком інверсії « $\bar{\quad}$ ».

Проілюструємо процес розробки теоретико-множинної моделі та здійснення її корегування після розгортання БЦФ БПЛА на прикладі СМ Запорізької АЕС (ЗАЕС).

Нехай внаслідок аварії на ЗАЕС у робочий час виникла техногенна надзвичайна ситуація місцевого рівня, що обумовила переведення ЗАЕС у стан загальної аварійної ситуації, що відповідає:

– режиму комунальної аварії Системи аварійної готовності та реагування експлуатуючої організації і АЕС;

– режиму надзвичайної ситуації регіонального рівня Єдиної державної системи цивільного захисту [11].

Такий стан АЕС згідно [11] передбачає активацію внутрішнього кризового центру (ВКЦ) (через 30 хвилин) і зовнішнього кризового центру (через 2,5 години).

Структурна схема СМ ЗАЕС представлена на рис. 2.

Як ми можемо бачити, у якості ПСМ А на ЗАЕС виступає ПАМС, що призначена для контролю параметрів безпеки й стану систем реакторної установки (РУ) за допомогою технічних засобів контролю рівня (ТЗКР), температурного (ТЗТК) та радіоактивного контролю (ТЗРК).

Інформація від засобів вимірювання цих засобів надходить до ПЗОІ по основному та резервному дротових каналах.

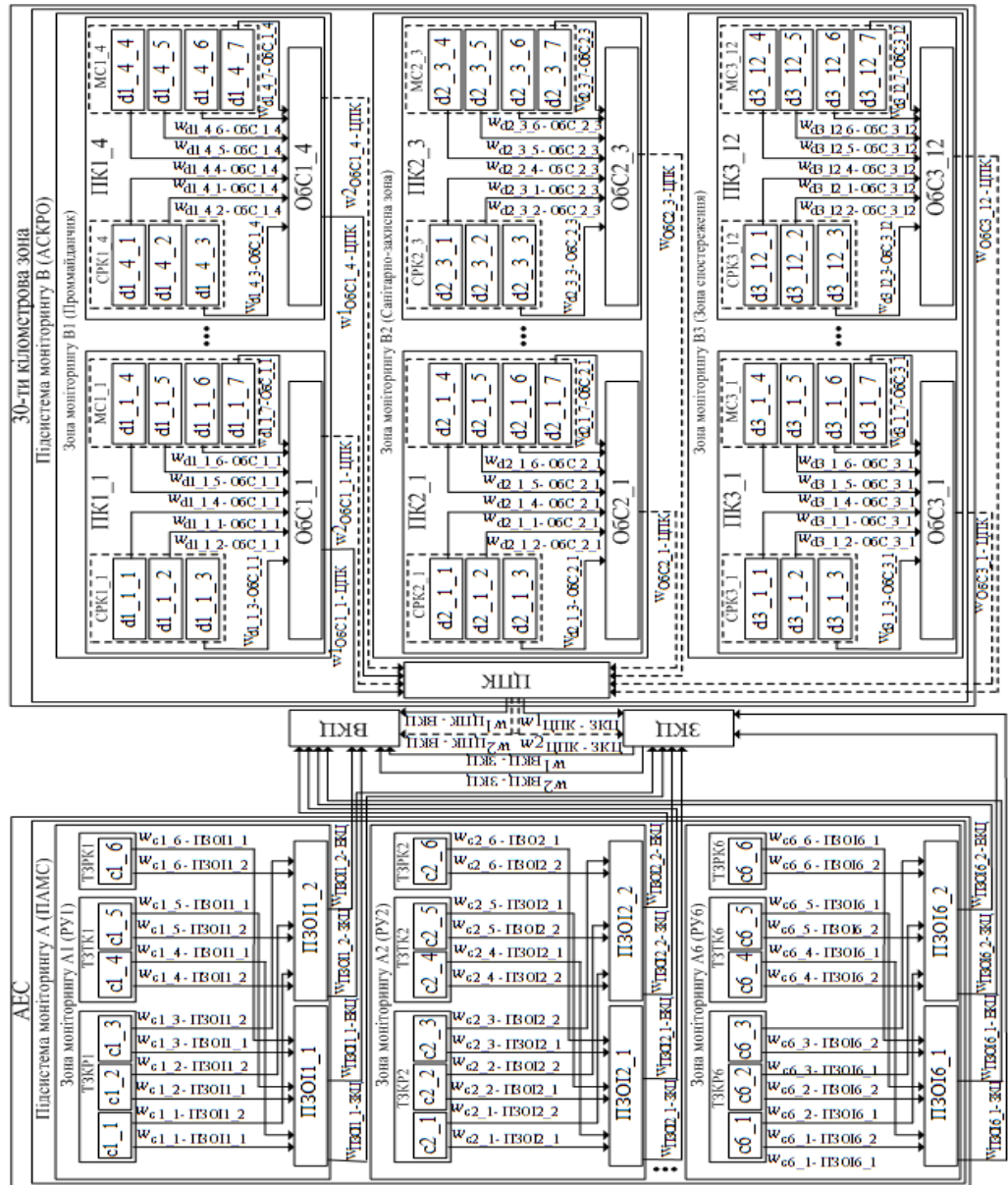


Рис. 2. Структурна схема СМ Запорізької АЕС

Усього маємо шість ЗМ, визначених за кількістю РУ АЕС.

У якості ПСМ В виступає АСКРО, що призначена для автоматичного моніторингу радіаційної обстановки (РО) на:

---

– проммайданчику (ПМ) (ЗМ В1), на території якого розташовані основні джерела радіоактивного забруднення;

– у санітарно-захисній зоні (СЗЗ) (ЗМ В2), яка виконує функції додаткового бар'єру, що зменшує можливий радіаційний вплив на населення;

– у зоні спостереження (ЗС) (ЗМ В3), що є зоною з радіусом 30 км з населеними пунктами, розташованими в межах цієї зони.

У кожній із цих зон спеціальні ПК забезпечують реалізацію комплексу завдань радіаційного й метеорологічного контролю, використовуючи для цього наявні у них метеорологічні системи (МС) та системи радіаційного контролю (СРК). Дані від ЗВ, що входять до складу МС і СРК, передаються до ОБС і далі до ЦПК, ВКЦ та ЗКЦ. Радіоканали зв'язку на рис. 2 показано пунктирною лінією.

По аналогії з виразом (1) СМ ЗАЕС може бути описана наступною множиною елементів:

$$СМ ЗАЕС = \left\langle \begin{array}{l} ПСМ А(ПАМС), ПСМ В(АСКРО), ВКЦ, ЗКЦ, \\ ЦПК, ЗМ А, ЗМ В, ТЗКР, ТЗТК, ТЗРК, С, \\ ПЗОІ, W_{С-ПЗОІ}, W_{ПЗОІ-КЦ}, ПК, D, ОБС, W_{D-ОБС}, \\ W_{ОБС-ЦПК}, W_{ЦПК-ВКЦ}, W_{ЦПК-ЗКЦ}, W_{ЗКЦ-ВКЦ} \end{array} \right\rangle, \quad (13)$$

де ПСМ А(ПАМС) – підсистема моніторингу, що здійснює моніторинг на території АЕС;

ПСМ В(АСКРО) – підсистема моніторингу, що здійснює моніторинг у 30-ти кілометровій зоні навколо АЕС;

ВКЦ – внутрішній кризовий центр;

ЗКЦ – зовнішній кризовий центр;

ЦПК – центральний пункт контролю;

ЗМ А – множина ЗМ (РУ) ПСМ А (ПАМС):

$$ЗМ А = \{ЗМ А1, ЗМ А2, \dots, ЗМ А6\}; \quad (14)$$

ЗМ В – множина ЗМ ПСМ В (АСКРО):

$$ЗМ В = \{ЗМ В1, ЗМ В2, ЗМ В3\}, \quad (15)$$

де ЗМ В1 – проммайданчик;

ЗМ В2 – санітарно-захисна зона;

ЗМ В3 – зона спостереження;

---

$TЗКР$  – множина технічних засобів контролю рівня ПСМ А (ПАМС):

$$TЗКР = \{TЗКР1, TЗКР2, \dots, TЗКР6\}; \quad (16)$$

$TЗТК$  – множина технічних засобів температурного контролю ПСМ А (ПАМС):

$$TЗТК = \{TЗТК1, TЗТК2, \dots, TЗТК6\}; \quad (17)$$

$TЗРК$  – множина технічних засобів радіаційного контролю ПСМ А (ПАМС):

$$TЗРК = \{TЗРК1, TЗРК2, \dots, TЗРК6\}; \quad (18)$$

$C$  – множина ЗВ ПСМ А (табл. 1):

$$C = \{ci\_a(Ai)\}, \quad (19)$$

Таблиця 1.

**Призначення засобів вимірювання параметрів безпеки і стану систем реакторної установки ПАМС**

| Засіб вимірювання | Призначення засобу вимірювання                                     |
|-------------------|--|
| $ci\_1$           | Вимірювання температури зовнішньої поверхні днища корпусу реактора |
| $ci\_2$           | Вимірювання температури в гермооболонці                            |
| $ci\_3$           | Вимірювання температури в басейні витримки                         |
| $ci\_4$           | Вимірювання рівня в басейні витримки                               |
| $ci\_5$           | Контроль рівня теплоносія в корпусі реакторі                       |
| $ci\_6$           | Вимірювання потужності дози випромінювання в гермооболонці         |

де  $i = \overline{1,6}$ ;  $a(Ai) = \overline{1,6}$ ,

причому

$$TЗКРi = \{ci\_1, ci\_2, ci\_3\}; \quad (20)$$

$$TЗТКи = \{ci\_4, ci\_5\}; \quad (21)$$

$$TЗРКи = \{ci\_6, ci\_7\}; \quad (22)$$

$ПЗОІ$  – множина ПЗОІ ПСМ А (ПАМС):

$$ПЗОІ = \{ПЗОІ1, ПЗОІ2, \dots, ПЗОІ6\}; \quad (23)$$

$W_{C-ПЗОІ}$  – множина каналів зв'язку між ЗВ ПСМ А й ПЗОІ:

$$W_{C-ПЗОІ} = \{W_{C_i a(Ai)-ПЗОІ1}, W_{C_i a(Ai)-ПЗОІ2}\}, \quad (24)$$

де  $W_{C_i a(Ai)-ПЗОІ1}$  – підмножина каналів між ЗВ ПСМ А й ПЗОІ<sub>1</sub>;

$W_{C_i a(Ai)-ПЗОІ2}$  – підмножина каналів між ЗВ ПСМ А й ПЗОІ<sub>2</sub>;

$W_{ПЗОІ-ВКЦ}$  – множина каналів зв'язку між ПЗОІ й ВКЦ:

$$W_{ПЗОІ-ВКЦ} = \{w_{ПЗОІ1-ВКЦ}, w_{ПЗОІ2-ВКЦ}\}, \quad (25)$$

де  $w_{ПЗОІ1-ВКЦ}$  – підмножина каналів між ПЗОІ<sub>1</sub> та ВКЦ;

$w_{ПЗОІ2-ВКЦ}$  – підмножина каналів між ПЗОІ<sub>2</sub> та ВКЦ;

ПК – множина ПК ПСМ В (АСКРО):

$$ПК = \{ПК_{3М В1}, ПК_{3М В2}, ПК_{3М В3}\}, \quad (26)$$

де  $ПК_{3М В1}$  – підмножина ПК, розташованих на ПП:

$$ПК_{3М В1} = \{ПК1_1, ПК1_2, ПК1_3, ПК1_4\}; \quad (27)$$

$ПК_{3М В2}$  – підмножина ПК, розташованих у СЗЗ:

$$ПК_{3М В2} = \{ПК2_1, ПК2_2, ПК2_3\}; \quad (28)$$

$ПК_{3М В3}$  – підмножина ПК, розташованих у ЗС:

$$ПК_{3М В3} = \{ПК3_1, ПК3_2, \dots, ПК3_{12}\}; \quad (29)$$

МС – множина МС у складі ПК:

$$МС = \{МС_{3М В1}^{ПК}, МС_{3М В2}^{ПК}, МС_{3М В3}^{ПК}\}, \quad (30)$$

де  $МС_{3М В1}^{ПК}$  – підмножина МС у складі ПК, розташованих на ПП:

$$МС_{3М В1}^{ПК} = \{МС1_1, МС1_2, МС1_3, МС1_4\}; \quad (31)$$

$МС_{3М В2}^{ПК}$  – підмножина МС у складі ПК, розташованих у СЗЗ:

$$МС_{3М В2}^{ПК} = \{МС2_1, МС2_2, МС2_3\}; \quad (32)$$

$МС_{3М В3}^{ПК}$  – підмножина МС у складі ПК, розташованих у ЗС:

$$МС_{3М В3}^{ПК} = \{МС3_1, МС3_2, \dots, МС3_{12}\}; \quad (33)$$

СРК – множина СРК у складі ПК:



$$CPK = \{CPK_{3M B1}^{PK}, CPK_{3M B2}^{PK}, CPK_{3M B3}^{PK}\}, \quad (34)$$

де  $CPK_{3M B1}^{PK}$  – підмножина CPK у складі ПК, розташованих на ПП:

$$CPK_{3M B1}^{PK} = \{CPK1\_1, CPK1\_2, CPK1\_3, CPK1\_4\}; \quad (35)$$

$CPK_{3M B2}^{PK}$  – підмножина CPK у складі ПК, розташованих у СЗЗ:

$$CPK_{3M B2}^{PK} = \{CPK2\_1, CPK2\_2, CPK2\_3\}; \quad (36)$$

$CPK_{3M B3}^{PK}$  – підмножина CPK у складі ПК, розташованих у ЗС :

$$CPK_{3M B3}^{PK} = \{CPK3\_1, CPK3\_2, \dots, CPK3\_12\}; \quad (37)$$

$D$  – множина ЗВ у складі ПК ПСМ В (табл. 2):

$$D = \{D_{3M B1}^{PK}, D_{3M B2}^{PK}, D_{3M B3}^{PK}\}, \quad (38)$$

Таблиця 2.

### Призначення засобів вимірювання ПК АСКРО

| Система поста контролю | Засіб вимірювання | Призначення засобу вимірювання                     |
|------------------------|-------------------|--|
| $CPKj\_b(j)$           | $dj\_b(Bj)\_1$    | потужність дози гама-випромінювання                |
|                        | $dj\_b(Bj)\_2$    | об'ємна активність радіоактивних аерозолів         |
|                        | $dj\_b(Bj)\_3$    | об'ємна активність радіонукліда йоду ( $I^{131}$ ) |
| $MCj\_b(j)$            | $dj\_b(Bj)\_4$    | вимірювання швидкості і напрямку вітру             |
|                        | $dj\_b(Bj)\_5$    | вимірювання температури повітря                    |
|                        | $dj\_b(Bj)\_6$    | вимірювання відносної вологості                    |
|                        | $dj\_b(Bj)\_7$    | вимірювання атмосферного тиску                     |

де  $D_{3M B1}^{PK}$  – підмножина ЗВ у складі ПК, розташованих на ПП:

$$D_{3M B1}^{PK} = \{d1\_b(B1)\_k(PK1\_b(B1))\}, \quad (39)$$

де  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $k(PK1\_b(B1)) = \overline{1,7}$ ,

причому

$$CPK_{3M B1}^{PK} = \{d1\_b(B1)\_1, d1\_b(B1)\_2, d1\_b(B1)\_3\}; \quad (40)$$

$$MC_{3M B1}^{ПК} = \{d1\_b(B1)\_4, d1\_b(B1)\_5, \dots, d1\_b(B1)\_7\}; \quad (41)$$

$D_{3M B2}^{ПК}$  – підмножина ЗВ у складі ПК, розташованих у СЗЗ:

$$D_{3M B2}^{ПК} = \{d2\_b(B2)\_k(ПК2\_b(B2))\}, \quad (42)$$

де  $d2\_b(B2) = \overline{1,3}$ ;  $k(ПК2\_b(B2)) = \overline{1,7}$ ,

причому

$$СРК_{3M B2}^{ПК} = \{d2\_b(B2)\_1, d2\_b(B2)\_2, d2\_b(B2)\_3\}; \quad (43)$$

$$MC_{3M B2}^{ПК} = \{d2\_b(B2)\_4, d2\_b(B2)\_5, \dots, d2\_b(B2)\_7\}; \quad (44)$$

$D_{3M B3}^{ПК}$  – підмножина ЗВ у складі ПК, розташованих у ЗС:

$$D_{3M B3}^{ПК} = \{d3\_b(B3)\_k(ПК3\_b(B3))\}, \quad (45)$$

де  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;  $k(ПК3\_b(B3)) = \overline{1,7}$ ,

причому

$$СРК_{3M B3}^{ПК} = \{d3\_b(B3)\_1, d3\_b(B3)\_2, d3\_b(B3)\_3\}; \quad (46)$$

$$MC_{3M B3}^{ПК} = \{d3\_b(B3)\_4, d3\_b(B3)\_5, \dots, d3\_b(B3)\_7\}; \quad (47)$$

ОбС – множина ОбС у складі ПК:

$$ОбС = \{ОбС_{3M B1}^{ПК}, ОбС_{3M B2}^{ПК}, ОбС_{3M B3}^{ПК}\}, \quad (48)$$

де  $ОбС_{3M B1}^{ПК}$  – підмножина ОбС у складі ПК, розташованих на ПП:

$$ОбС_{3M B1}^{ПК} = \{ОбС1\_1, ОбС1\_2, ОбС1\_3, ОбС1\_4\}; \quad (49)$$

$ОбС_{3M B2}^{ПК}$  – підмножина ОбС у складі ПК, розташованих у СЗЗ:

$$ОбС_{3M B2}^{ПК} = \{ОбС2\_1, ОбС2\_2, ОбС2\_3\}; \quad (50)$$

$ОбС_{3M B3}^{ПК}$  – підмножина ОбС у складі ПК, розташованих у ЗС:

$$ОбС_{3M B3}^{ПК} = \{ОбС3\_1, ОбС3\_2, \dots, ОбС3\_12\}; \quad (51)$$

$W_{ОбС-ЦПК}$  – множина каналів зв'язку між ОбС ПК та ЦПК:

$$W_{ОбС-ЦПК} = \{w_{ОбСj\_b(Bj)-ЦПК}\}; \quad (52)$$

$W_{ЦПК-ВКЦ}$  – множина каналів зв'язку між ЦПК та ВКЦ:

$$W_{ЦПК-ВКЦ} = \{w1_{ЦПК-ВКЦ}, w2_{ЦПК-ВКЦ}\}; \quad (53)$$

де  $w1_{ЦПК-ВКЦ}$  – основний канал зв'язку між ЦПК та ВКЦ;

$w2_{ЦПК-ВКЦ}$  – резервний канал зв’язку між ЦПК та ВКЦ;

$W_{ВКЦ-ЗКЦ}$  – множина каналів зв’язку між ВКЦ та ЗКЦ;

$$W_{ВКЦ-ЗКЦ} = \{w1_{ВКЦ-ЗКЦ}, w2_{ВКЦ-ЗКЦ}\}, \quad (54)$$

де  $w1_{ВКЦ-ЗКЦ}$  – основний канал зв’язку між ВКЦ та ЗКЦ;

$w2_{ВКЦ-ЗКЦ}$  – резервний канал зв’язку між ВКЦ та ЗКЦ.

У разі виникнення відмов окремих ЗВ та каналів зв’язку СМ ЗАЕС має у своєму розпорядженні БЦФ здатний:

- виконувати функції окремих ЗВ ПК ПСМ В (АСКРО) (табл. 3);
- утворювати 2-х канальні мережі бездротового зв’язку (табл. 4), використовуючи БПЛА мультироторного (М-БПЛА) і літакового (Л-БПЛА) типів, а також технології Wi-Fi (IEEE 802.11) та LoRaWAN у порядку, представленому у [12];
- виконувати за необхідності додаткові функції післяаварійного моніторингу (табл. 5).

Таблиця 3.

**Закріплення за БПЛА функцій засобів вимірювання постів контролю АСКРО**

| Система      | Засіб вимірювання | БПЛА, що буде виконувати функцію групи засобів вимірювання певної системи         |
|--------------|-------------------|---|
| $СРКj\_b(j)$ | $dj\_b(Bj)\_1$    | $М - БПЛА^{СРКj\_b(j)}$ або повітряна система радіаційного контролю $ПСРКj\_b(j)$ |
|              | $dj\_b(Bj)\_2$    |   |
|              | $dj\_b(Bj)\_3$    |   |
| $МСj\_b(j)$  | $dj\_b(Bj)\_4$    | $М - БПЛА^{МСj\_b(j)}$ або повітряна метеорологічна система $ПМСj\_b(j)$          |
|              | $dj\_b(Bj)\_5$    |   |
|              | $dj\_b(Bj)\_6$    |   |
|              | $dj\_b(Bj)\_7$    |   |

Таблиця 4.

**Можливості БЦФ БПЛА щодо утворення 2-х каналних мереж бездротового зв'язку та обов'язковість їх утворення**

| Бездротова мережа зв'язку                        | Умова обов'язкового утворення   |
|--|---|
| <i>ПЗОі<sub>1</sub> - ВКЦ</i>                    | $\overline{w_{ПЗОі_1 - ВКЦ}}$   |
| <i>ПЗОі<sub>2</sub> - ВКЦ</i>                    | $\overline{w_{ПЗОі_2 - ВКЦ}}$   |
| <i>ПЗОі<sub>1</sub> - ЗКЦ</i>                    | $\overline{w_{ПЗОі_1 - ЗКЦ}}$   |
| <i>ПЗОі<sub>2</sub> - ЗКЦ</i>                    | $\overline{w_{ПЗОі_2 - ЗКЦ}}$   |
| <i>ОбС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЦПК</i>  | $\begin{cases} \overline{w_{ОбС_j - b(B_j) - ЦПК}^1} \wedge \overline{w_{ОбС_j - b(B_j) - ЦПК}^2}, j = 1; \\ \overline{w_{ОбС_j - b(B_j) - ЦПК}}, j = 2, 3 \end{cases}$ |
| <i>ОбС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ВКЦ</i>  | $\overline{ЦПК}$  |
| <i>ОбС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЗКЦ</i>  | $\overline{ЦПК}$  |
| <i>ПСРК<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЦПК</i> | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПСРКj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$   |
| <i>ПСРК<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ВКЦ</i> | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПСРКj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$   |
| <i>ПСРК<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЗКЦ</i> | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПСРКj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$   |
| <i>ПМС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЦПК</i>  | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПМСj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$  |
| <i>ПМС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ВКЦ</i>  | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПМСj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$  |
| <i>ПМС<sub>j</sub> - b(B<sub>j</sub>) - ЗКЦ</i>  | $(\exists dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj))) \in \overline{\in ПМСj\_b(j)(dj\_b(Bj)\_k(ПКj\_b(Bj)))}$  |
| <i>ЦПК - ВКЦ</i>                                 | $\overline{w_{ЦПК - ВКЦ}^1} \wedge \overline{w_{ЦПК - ВКЦ}^2}$  |
| <i>ЦПК - ЗКЦ</i>                                 | $\overline{w_{ЦПК - ЗКЦ}^1} \wedge \overline{w_{ЦПК - ЗКЦ}^2}$  |
| <i>ВКЦ - ЗКЦ</i>                                 | $\overline{w_{ВКЦ - ЗКЦ}^1} \wedge \overline{w_{ВКЦ - ЗКЦ}^2}$  |

**Закріплення за БПЛА додаткових функцій післяаварійного моніторингу**

| Додаткові функції післяаварійного моніторингу | БПЛА, що буде виконувати функцію                   |
|---|--|
| Фотомоніторинг                                | $M - БПЛА_w^{ФВТ}$ ,<br>$w = \overline{1, \omega}$ |
| Відеомоніторинг                               |  |
| Тепловізійний моніторинг                      |  |

Здійснимо теоретико-множинний опис груп, що утворюють бездротові мережі зв'язку (табл. 4).

1) Мережа бездротового зв'язку  $ПЗОі\_1-ВКЦ$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ПЗОі\_1-ВКЦ} = \left\{ G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ}) \right\}, \quad (55)$$

де  $i = \overline{1, 6}$ ,  $\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ) = \overline{1, 2}$ ;

$G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ПЗОі\_1-ВКЦ$  :

$$G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)\_ \varphi(\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ))}^{ПЗОі\_1-ВКЦ} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ} \end{array} \right\}, \quad (56)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ))}$ ,

$\gamma(\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)$  -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)}^{ПЗОі\_1-ВКЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ПЗОі\_1-ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку.

2) Мережа бездротового зв'язку  $П ПЗОі\_2-ВКЦ$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ПЗОі\_2-ВКЦ} = \left\{ G_{\varepsilon(ПЗОі\_2-ВКЦ)}^{ПЗОі\_2-ВКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПЗОі\_2-ВКЦ)}^{ПЗОі\_2-ВКЦ}) \right\}, \quad (57)$$

---

де  $i = \overline{1,6}$ ,  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}$  :

$$G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} M - \text{БПЛА}_{M\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})-\varphi(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}))}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}} \\ L - \text{БПЛА}_{L\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (58)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}))}$ ,

$\gamma(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_2\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

3) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}} = \left\{ G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}}) \right\}, \quad (59)$$

де  $i = \overline{1,6}$ ,  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}$  :

$$G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} M - \text{БПЛА}_{M\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})-\varphi(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}))}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}} \\ L - \text{БПЛА}_{L\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (60)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}))}$ ,

$\gamma(\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})}^{\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ПЗО}i\_1\text{-ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

4) Мережа бездротового зв'язку  $ПЗОі_2 - ЗКЦ$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ПЗОі_2-ЗКЦ} = \left\{ G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ}) \right\}, \quad (61)$$

де  $i = \overline{1,6}$ ,  $\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ПЗОі_2 - ЗКЦ$  :

$$G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{M\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)\varphi(\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ))}^{ПЗОі_2-ЗКЦ} \\ L - БПЛА_{L\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ} \end{array} \right\}, \quad (62)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються.

$\eta(G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ПЗОі_2-ЗКЦ)}^{ПЗОі_2-ЗКЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ПЗОі_2 - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку.

5) Мережа бездротового зв'язку  $ОбСj_b(Vj) - ЦПК$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК} = \left\{ G_{\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК}) \right\}, \quad (63)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(ОбСj_b(Vj) - ЦПК) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ОбСj_b(Vj) - ЦПК)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ОбСj_b(Vj) - ЦПК$  :

$$G_{\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{M\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)\varphi(\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК))}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК} \\ L - БПЛА_{L\varepsilon(ОбСj_b(Vj)-ЦПК)}^{ОбСj_b(Vj)-ЦПК} \end{array} \right\}, \quad (64)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ОбСj_b(Vj) - ЦПК)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ОбСj_b(Vj) - ЦПК))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЦПК}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ЦПК})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЦПК})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЦПК}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЦПК})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЦПК}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ЦПК})$ -го бездротового каналу зв'язку.

б) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}} = \left\{ G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}}) \right\}, \quad (65)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ВКЦ}$ :

$$G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{М - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}} \\ \text{Л - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (66)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ВКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ОбСi}_b(Vj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

7) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ}} = \left\{ G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ})}^{\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ}}) \right\}, \quad (67)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(\text{ОбСj}_b(Vj)\text{-ЗКЦ}) = \overline{1,2}$ ;



$G_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ОбСi\_b(Vj)-3КЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ОбСi\_b(Vj)-3КЦ$  :

$$G_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ} \end{array} \right\}, \quad (68)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ОбСi\_b(Vj)-3КЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ОбСj\_b(Vj)-3КЦ)}^{ОбСj\_b(Vj)-3КЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ОбСi\_b(Vj)-3КЦ)$  -го бездротового каналу зв'язку.

8) Мережа бездротового зв'язку  $ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} ПСРКj\_b(Vj) \cdot \eta(ПСРКj\_b(Vj)), \\ G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК}) \end{array} \right\}, \quad (69)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ЦПК)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ПСРКi\_b(Vj)-ЦПК$  :

$$G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК} \end{array} \right\}, \quad (70)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ЦПК)$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(ПСРКj\_b(Vj))$  – кількість (ПСРКj\\_b(Vj)), які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЦПК}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ЦПК)$ -го бездротового каналу зв'язку.

9) Мережа бездротового зв'язку ПСРКj\\_b(Vj)-ВКЦ утворюється групою БПЛА

$$G^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} ПСРКj\_b(Vj) \cdot \eta(ПСРКj\_b(Vj)), \\ G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ}) \end{array} \right\}, \quad (71)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі ПСРКi\\_b(Vj)-ВКЦ :

$$G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ} \cdot \varphi(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)), \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ} \end{array} \right\}, \quad (72)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(ПСРКj\_b(Vj))$  – кількість (ПСРКj\\_b(Vj)), які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ВКЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ПСРКi\_b(Vj)-ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку.

10) Мережа бездротового зв'язку ПСРКj\\_b(Vj)-ЗКЦ утворюється групою БПЛА

$$G^{ПСРКj\_b(Vj)-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} ПСРКj\_b(Vj) \cdot \eta(ПСРКj\_b(Vj)), \\ G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЗКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЗКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПСРКj\_b(Vj)-ЗКЦ)}^{ПСРКj\_b(Vj)-ЗКЦ}) \end{array} \right\}, \quad (73)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ПСРК}i\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ПСРК}i\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}$  :

$$G_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} M - \text{БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}} \\ L - \text{БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (74)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ПСРК}i\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(\text{ПСРК}j\_b(Bj))$  – кількість ( $\text{ПСРК}j\_b(Bj)$ ), які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})}^{\text{ПСРК}j\_b(Bj) - \text{ЗКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ПСРК}i\_b(Bj) - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

11) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ПМС}j\_b(Bj) \cdot \eta(\text{ПМС}j\_b(Bj)), \\ G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}}) \end{array} \right\}, \quad (75)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj) - \text{ЦПК})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ПМС}i\_b(Bj) - \text{ЦПК}$  :

$$G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}} = \left\{ \begin{array}{l} M - \text{БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}} \\ L - \text{БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}} \end{array} \right\}, \quad (76)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj) - \text{ЦПК}))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ЦПК}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ЦПК})$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(\text{ПМС}j\_b(Bj))$  – кількість ( $\text{ПМС}j\_b(Bj)$ ), які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ЦПК}})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ЦПК})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ЦПК}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ЦПК})$ -го бездротового каналу зв'язку.

12) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ПМС}j\_b(Bj) \cdot \eta(\text{ПМС}j\_b(Bj)), \\ G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}}) \end{array} \right\}, \quad (77)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ВКЦ}$ :

$$G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{М - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}}, \\ \text{Л - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (78)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})) = 1, \gamma(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}))$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(\text{ПМС}j\_b(Bj))$  – кількість ( $\text{ПМС}j\_b(Bj)$ ), які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ})}^{\text{ПМС}j\_b(Bj)\text{-ВКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ПМС}i\_b(Bj)\text{-ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

13) Мережа бездротового зв'язку  $ПМСj\_b(Bj) - ЗКЦ$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} ПМСj\_b(Bj) \cdot \eta(ПМСj\_b(Bj)), \\ G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ}) \end{array} \right\}, \quad (79)$$

де  $j = \overline{1,3}$ ;  $b(B1) = \overline{1,4}$ ,  $b(B2) = \overline{1,3}$ ,  $b(B3) = \overline{1,12}$ ;

$\varepsilon(ПМСj\_b(Bj) - ЗКЦ) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ПМСi\_b(Bj) - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ПМСi\_b(Bj) - ЗКЦ$  :

$$G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ} \end{array} \right\}, \quad (80)$$

де  $\varphi(\varepsilon(ПМСj\_b(Bj) - ЗКЦ)) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(ПМСj\_b(Bj) - ЗКЦ))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(ПМСj\_b(Bj) - ЗКЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(ПМСi\_b(Bj) - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(ПМСj\_b(Bj))$  – кількість  $(ПМСj\_b(Bj))$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійний радіаційний контроль;

$\eta(G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ})$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ)}^{ПМСj\_b(Bj)-ЗКЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(ПМСi\_b(Bj) - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку.

14) Мережа бездротового зв'язку  $ЦПК - ВКЦ$  утворюється групою БПЛА

$$G^{ЦПК-ВКЦ} = \left\{ G_{\varepsilon(ЦПК-ВКЦ)}^{ЦПК-ВКЦ} \cdot \eta(G_{\varepsilon(ЦПК-ВКЦ)}^{ЦПК-ВКЦ}) \right\}, \quad (81)$$

де  $\varepsilon(ЦПК - ВКЦ) = \overline{1,2}$ ;

$G_{\varepsilon(ЦПК-ВКЦ)}^{ЦПК-ВКЦ}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(ЦПК - ВКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $ЦПК - ВКЦ$  :

$$G^{ЦПК-ВКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(ЦПК-ВКЦ)}^{ЦПК-ВКЦ} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(ЦПК-ВКЦ)}^{ЦПК-ВКЦ} \end{array} \right\}, \quad (82)$$

---

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ}))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку й бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ВКЦ}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ВКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ВКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

15) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}} = \left\{ G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}}) \right\}, \quad (83)$$

де  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}) = \overline{1, 2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}$  :

$$G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{М - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}} \cdot \varphi(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})), \\ \text{Л - БПЛА}_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}} \end{array} \right\}, \quad (84)$$

де  $\varphi(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})) = \overline{1, \gamma(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}))}$ ;

$\gamma(\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ}}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(\text{ЦПК} - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку.

16) Мережа бездротового зв'язку  $\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}$  утворюється групою БПЛА

$$G^{\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}} = \left\{ G_{\varepsilon(\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}} \cdot \eta(G_{\varepsilon(\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}}) \right\}, \quad (85)$$

де  $\varepsilon(\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}) = \overline{1, 2}$ ;

$G_{\varepsilon(\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ})}^{\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}}$  – підгрупа БПЛА, що забезпечує функціонування  $\varepsilon(\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ})$ -го бездротового каналу зв'язку мережі  $\text{ВКЦ} - \text{ЗКЦ}$  :

$$G^{BKЦ-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} M - БПЛА_{\varepsilon(BKЦ-ЗКЦ)}^{BKЦ-ЗКЦ} \\ L - БПЛА_{\varepsilon(BKЦ-ЗКЦ)}^{BKЦ-ЗКЦ} \end{array} \right\}, \quad (86)$$

де  $\varphi(\varepsilon(BKЦ - ЗКЦ)) = 1, \gamma(\varepsilon(BKЦ - ЗКЦ))$ ;

$\gamma(\varepsilon(BKЦ - ЗКЦ))$  – кількість М-БПЛА, що визначається в залежності від протяжності  $\varepsilon(BKЦ - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку та бездротових технологій, що застосовуються;

$\eta(G_{\varepsilon(BKЦ-ЗКЦ)}^{BKЦ-ЗКЦ}) = 2$  – кількість підгруп  $G_{\varepsilon(BKЦ-ЗКЦ)}^{BKЦ-ЗКЦ}$ , які в режимі чергування забезпечують безперебійну роботу  $\varepsilon(BKЦ - ЗКЦ)$ -го бездротового каналу зв'язку.

У разі необхідності (табл. 5) може бути розгорнута наступна група БПЛА для здійснення додаткових функцій – фото, відео та тепловізійного моніторингу:

$$G^{\Phi BT} = \{ M - БПЛА_1^{\Phi BT}, M - БПЛА_2^{\Phi BT}, \dots, M - БПЛА_o^{\Phi BT} \}. \quad (87)$$

Кількість  $M - БПЛА^{\Phi BT}$  залежить від кількості об'єктів (місць, маршрутів), що підлягають моніторингу.

Припустимо, що після аварії на ЗАЕС її СМ характеризується наступною множиною непрацездатних елементів:

$$\overline{E} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{W_{Обсз\_8-ЦПК}}, \overline{W_{Обсз\_9-ЦПК}}, \overline{W_{Пзог2\_1-ЗКЦ}}, \\ \overline{d2\_1\_1}, \overline{d2\_1\_2}, \overline{d2\_1\_3} \end{array} \right\}. \quad (88)$$

Крім того, сценарій розвитку аварії обумовлює необхідність здійснення фото, відео та тепловізійного моніторингу у 30-ти кілометровій зоні ЗАЕС на п'яти маршрутах з призначенням на кожний маршрут по одному М-БПЛА.

Враховуючи можливості БЦФ, представлені в табл. [3] - [5], протяжність бездротових каналів та бездротові технології, що застосовуються, було розгорнуто БЦФ БПЛА у складі:

1) ПСРК2\_1 для реалізації функцій засобів вимірювання  $\overline{d2\_1\_1}$ ,  $\overline{d2\_1\_2}$ ,  $\overline{d2\_1\_3}$ ;

2) групи БПЛА  $G^{ПСРК2\_1-ЦПК}$  для організації бездротової мережі  $ПСРК2\_1-ЦПК$  з метою передачі даних радіаційного контролю після відмови  $\overline{d2\_1\_1}, \overline{d2\_1\_2}, \overline{d2\_1\_3}$ :

$$G^{ПСРК2\_1-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} 2ПСРК2\_1, 2М - БПЛА_{1\_1}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, \\ 2М - БПЛА_{1\_2}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, \dots, 2М - БПЛА_{1\_5}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, \\ 2М - БПЛА_{2\_1}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, 2М - БПЛА_{2\_2}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, \dots, \\ 2М - БПЛА_{2\_3}^{ПСРК2\_1-ЦПК}, Л - БПЛА^{ПСРК2\_1-ЦПК} \end{array} \right\};$$

3) групи БПЛА  $G^{ОбСЗ\_8-ЦПК}$  для організації бездротової мережі  $ОбСЗ\_8-ЦПК$  замість  $\overline{w_{ОбСЗ\_8-ЦПК}}$ :

$$G^{ОбСЗ\_8-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} 2М - БПЛА_{1\_1}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, 2М - БПЛА_{1\_2}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \dots, \\ 2М - БПЛА_{1\_6}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, 2М - БПЛА_{2\_1}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \\ 2М - БПЛА_{2\_2}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \dots, 2М - БПЛА_{2\_6}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \\ Л - БПЛА^{ОбСЗ\_8-ЦПК} \end{array} \right\};$$

4) групи БПЛА  $G^{ОбСЗ\_9-ЦПК}$  для організації бездротової мережі  $ОбСЗ\_9-ЦПК$  замість  $\overline{w_{ОбСЗ\_9-ЦПК}}$ :

$$G^{ОбСЗ\_9-ЦПК} = \left\{ \begin{array}{l} 2М - БПЛА_{1\_1}^{ОбСЗ\_9-ЦПК}, 2М - БПЛА_{1\_2}^{ОбСЗ\_9-ЦПК}, \dots, \\ 2М - БПЛА_{1\_9}^{ОбСЗ\_9-ЦПК}, 2М - БПЛА_{2\_1}^{ОбСЗ\_9-ЦПК}, \\ 2М - БПЛА_{2\_2}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \dots, 2М - БПЛА_{2\_9}^{ОбСЗ\_8-ЦПК}, \\ Л - БПЛА^{ОбСЗ\_8-ЦПК} \end{array} \right\};$$

5) групи  $ПЗОІ2\_1-ЗКЦ$  для організації бездротової мережі замість  $\overline{w_{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}}$ :

$$G^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ} = \left\{ \begin{array}{l} 2М - БПЛА_{1\_1}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, 2М - БПЛА_{1\_2}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, \\ 2М - БПЛА_{1\_3}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, 2М - БПЛА_{2\_1}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, \\ 2М - БПЛА_{2\_2}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, 2М - БПЛА_{2\_3}^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ}, \\ Л - БПЛА^{ПЗОІ2\_1-ЗКЦ} \end{array} \right\};$$



б) групи БПЛА  $G^{ФВТ}$  для виконання завдань фото, відео та тепловізійного моніторингу ЗАЕС на п'яти маршрутах патрулювання:

$$G^{ФВТ} = \{M - БПЛА_1^{ФВТ}, M - БПЛА_2^{ФВТ}, \dots, M - БПЛА_5^{ФВТ}\}.$$

Відзначимо, що роль  $L - БПЛА^{ОбСЗ_8-ЦПК}$  та  $L - БПЛА^{ОбСЗ_9-ЦПК}$  виконує один і той же Л-БПЛА. Отже маємо:

$$G^{ОбСЗ_8-ЦПК} \cap G^{ОбСЗ_9-ЦПК}.$$

Таким чином, скорегована теоретико-множинна модель СМ ЗАЕС після розгортання вказаного флоту набуде наступного вигляду:

$$СМ ЗАЕС = \left\langle \begin{array}{l} ПСМ А(ПАМС), ПСМ В(АСКРО), ВКЦ, ЗКЦ, \\ ЦПК, ЗМ А, ЗМ В, ТЗКР, ТЗТК, ТЗРК, С, \\ ПЗОІ, W_{С-ПЗОІ}, W_{ПЗОІ-КЦ}^{кор}, ПК, D^{кор}, ОбС, W_{D-ОбС}, \\ W_{ОбС-ЦПК}^{кор}, W_{ЦПК-ВКЦ}, W_{ЦПК-ЗКЦ}, W_{ЗКЦ-ВКЦ}, БЦФ^{роз} \end{array} \right\rangle.$$

Як ми можемо бачити модель тепер містить:

– скореговані множини:

$$W_{ПЗОІ-КЦ}^{кор} \ni \overline{W_{ПЗОІ2_1-ЗКЦ}};$$

$$W_{ОбС-ЦПК}^{кор} \ni \left[ \overline{W_{ОбСЗ_8-ЦПК}}, \overline{W_{ОбСЗ_9-ЦПК}} \right];$$

$$D^{кор} \ni \left\{ \overline{d2_1_1}, \overline{d2_1_2}, \overline{d2_1_3} \right\};$$

– розгорнутий БЦФ БПЛА:

$$БЦФ^{роз} = \left\{ ПСРК2_1, G^{ПСРК2_1-ЦПК}, G^{ОбСЗ_8-ЦПК}, \right. \\ \left. G^{ОбСЗ_9-ЦПК}, G^{ПЗОІ2_1-ЗКЦ}, G^{ФВТ} \right\}.$$

**Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Побудована загальна структурна схема системи моніторингу ПНО та розроблена теоретико-множинна модель на її основі. Сформульовані рекомендації щодо корегування моделі у разі розгортання багатоцільового флоту БПЛА. Показано процес розробки теоретико-множинної моделі та здійснення її корегування після розгортання багатоцільового флоту БПЛА на прикладі системи моніторингу Запорізької АЕС. Визначені можливості багатоцільового флоту та показано варіант його розгортання у складі п'яти груп БПЛА і однієї повітряної станції радіаційного контролю для виконання функцій засобів вимірювання та каналів зв'язку, що відмовили внаслідок аварії на

---

АЕС. Подальшого дослідження потребують різні варіанти розгортання багатопроцільового флоту в умовах великої кількості відмов елементів системи моніторингу ПНО.

Результати досліджень отримані в рамках науково-дослідних робіт «Методологічні засади та технології оцінювання та забезпечення безпеки (захисту) критичних інформаційних інфраструктур» (державний реєстраційний номер: 0119U100979) та «Методологія сталого розвитку та інформаційні технології зеленого комп'ютерингу та комунікацій» (державний реєстраційний номер: 0118U003822), які виконуються Національним аерокосмічним університетом ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

#### **Список використаних джерел:**

1. Babak, S.: Radiation monitoring of environment using unmanned aerial complex. The Advanced Science Journal 12, 41-44 (2014).
2. Connor, D. T., Martin, P. G., Scott, T. B.: Airborne radiation mapping: overview and application of current and future aerial systems. International Journal of Remote Sensing 37, 5953-5987 (2016). doi: 10.1080/01431161.2016.12524.
3. Жукаускас С. В. Системы мобильного экологического мониторинга обращения с опасными отходами с использованием беспилотных летательных аппаратов / С. В. Жукаускас, К. В. Сметанін // Аерокосмічні технології. – 2017. – № 2 (2). – С. 66-76.
4. Забулонов Ю. Л. Система для оперативного дистанційного контролю та спостереження за радіаційною обстановкою / Ю. Л. Забулонов, В. М. Буртняк, Л. А. Одукалець // Наука та інновації. – 2017. – № 4(13). – С. 46-53. doi:10.15407/scin13.03.046.
5. Арутюнян Р. В. Перспективы развития автоматизированных систем контроля радиационной обстановки в мурманской и архангельской областях за счет комплексного применения мобильных средств / Р. В. Арутюнян, Е. В. Попов, С. Л. Гаврилов // Арктика : экология и экономика. – 2017. – № 3(27). – С. 39–48. doi: 10.25283/2223-4594-2017-3-39-48.
6. Система для автономного мониторинга радиационной обстановки вокруг атомной электростанции / [А. Н. Власенко, А. Ю. Ивашева, О. Е. Лапин и др.] // Экстремальная робототехника. – 2018. – Том 1. – № 1(1). – С. 139-147.
7. Формування динамічної моделі оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики /

---

[В. В. Тютюник, О. М. Соболев, В. Д. Калугін, Ю. В. Захарченко] // Екологічна безпека та природокористування. – 2020. – № 1(33). – 95-114.

8. Fesenko, H., Kharchenko, V., Sachenko, A., Hiromoto, R., Kochan, V.: An Internet of Drone-based multi-version post-severe accident monitoring system: structures and reliability. In Kharchenko, V., Kor, A., Rucinski, A. (eds.) Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation, pp. 197-217. River Publishers, Denmark, The Netherlands (2018).

9. Фесенко Г. В. Моделі надійності угруповань флотів БПЛА з ковзним резервуванням для моніторингу потенційно небезпечних об'єктів / Г. В. Фесенко, В. С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2019. – № 2(90). – С. 147-156. doi: 10.32620/reks.2019.2.14.

10. Фесенко Г. В. Мінімізація часу початку виконання флотом безпілотних літальних апаратів завдання з радіаційного моніторингу у новій зоні відповідальності / Г. В. Фесенко // Системи та технології. – 2019. – № 1(57). – С. 5-20. doi:10.32836/2521-6643-2019-1-57-1.

11. Про затвердження Вимог до внутрішнього та зовнішнього кризових центрів АЕС [Електронний ресурс] : Наказ Державного комітету ядерного регулювання України від 16.01.2004 № 2. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-04#Text>. – Назва з екрана.

12. Kliushnikov I. M. Scheduling UAV fleets for the persistent operation of UAV-enabled wireless networks during NPP monitoring / I. M. Kliushnikov, H. V. Fesenko, V. S. Kharchenko // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2020. – № 1(93). – С. 29-36. doi: 10.32620/reks.2020.1.03.

#### References:

1. Babak, S.: Radiation monitoring of environment using unmanned aerial complex. The Advanced Science Journal 12, 41-44 (2014).

2. Connor, D. T., Martin, P. G., Scott, T. B.: Airborne radiation mapping: overview and application of current and future aerial systems. International Journal of Remote Sensing 37, 5953-5987 (2016). doi: 10.1080/01431161.2016.12524.

3. Zhukauskas S. V., Smetanin K. V.: Systems of mobile environmental monitoring of handling with dangerous waste with the use of unmanned aerial vehicles. Aerospace Technologies 2(2), 66-76 (2017).

4. Zabulonov, Y. L., Burtnyak, V. M., Odukalets, L. A.: System for effective remote control and monitoring of radiation situation based on unmanned aerial vehicle. Science and Innovation 4(13), 46-53 (2017). doi:10.15407/scin13.03.046.

5. Arutyunyan, R. V., Popov, E. V., Gavrilov, S. L.: Prospects for the development of automated radiation monitoring systems in the Murmansk and Ar-

---

khangelsk regions through the integrated use of mobile radiation monitoring devices. *The Arctic: ecology and economy* 3(27), 39-48 (2017). doi: 10.25283/2223-4594-2017-3-39-48.

6. Vlasenko, A. N., Ivasheva, A. Y., Lapin, O. E., Mikutsky, V. G., Semenikhin, P. V.: System for autonomous radiation monitoring around nuclear power plant. *Extreme robotics* 1(1), 139-147 (2018).

7. Tiutiunyk, V., Sobol, O., Kalugin, V., Zakharchenko, J.: Formation of the dynamic model for operative monitoring of the ecosystem's pollution level through emergencies at nuclear power plants. *Ecological Safety and Nature Management* 1(33), 95-114 (2020).

8. Fesenko, H., Kharchenko, V., Sachenko, A., Hiromoto, R., Kochan, V.: An Internet of Drone-based multi-version post-severe accident monitoring system: structures and reliability. In Kharchenko, V., Kor, A., Rucinski, A. (eds.) *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*, pp. 197-217. River Publishers, Denmark, The Netherlands (2018).

9. Fesenko, H. V., Kharchenko, V. S.: Reliability models of UAV fleet groups with k-out-of-n redundancy for monitoring of potentially dangerous objects. *Radioelectronic and Computer Systems* 2(90), 147-156 (2019). doi: 10.32620/reks.2019.2.14.

10. Fesenko, H. V.: Minimization of the waiting time to start performing a radiation monitoring mission via a fleet of unmanned aerial vehicles in the new zone of responsibility. *Systems and Technologies* 1(57), 5-20 (2019). doi:10.32836/2521-6643-2019-1-57-1.

11. About approval of Requirements to the internal and external crisis centers of the NPP: the Order from the State committee of nuclear regulation of Ukraine No 2 from 01/16/2004, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-04#Text>, last accessed: 2020/08/03.

12. Kliushnikov, I. M., Fesenko, H. V.: Scheduling UAV fleets for the persistent operation of UAV-enabled wireless networks during NPP monitoring. *Radioelectronic and Computer Systems* 1(93), 29-36 (2020). doi: 10.32620/reks.2020.1.03.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.1-59.4>

UDC 656.135.073

**N. O. Luzhanska**, Senior Lecturer of the Department of Transport Technologies, National Transport University

**I. H. Lebid**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University

**I. M. Kravchenya**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transportation and Traffic Management, Belarusian State University of Transport

#### **CLUSTER ANALYSIS APPLICATION IN THE EVALUATION OF THE FOREIGN ECONOMIC POTENTIAL OF UKRAINE'S REGIONS**

*To analyze the market situation and to determine the demand for services provided by freight customs complexes in the regions of Ukraine, it is proposed the application of statistical data analysis methods for a comprehensive regional foreign economic potential assessment. The observation objects were twenty-four regions of Ukraine and the city of Kyiv in the period from 2015 to 2018. A number of indicators reflecting the level of their development were used as regional foreign economic potential assessment factors. As a research tool, such statistical analysis methods as hierarchical cluster analysis techniques and the k-means method in Statistica, the suite of analytics software products, are used. Following the classification results, the regions of Ukraine are divided into five homogeneous clusters based on which it is possible to develop a system of differentiated measures for each cluster of regions with the high, average, and low levels of foreign economic activity development.*

*Keywords: foreign economic potential of regions; cluster analysis; statistics; export; import.*

*С целью анализа существующей ситуации на рынке и оценки спроса на услуги грузовых таможенных комплексов по регионам Украины предложено применение методов статистического анализа данных для комплексной*

© N. O. Luzhanska, I. H. Lebid, I. M. Kravchenya, 2020

---

оценки внешнеэкономического потенциала регионов. Объектами наблюдения являлись двадцать четыре области Украины и город Киев в период с 2015 по 2018 год. Для оценки внешнеэкономического потенциала регионов использовались показатели, отражающие уровень их развития. В качестве инструмента исследования применяются такие методы статистического анализа данных как иерархические методы кластерного анализа и метод k-средних в пакете статистического анализа данных Statistica. В результате классификации области Украины распределены по пяти однородным кластерам, что позволит на этой основе разработать систему дифференцированных мероприятий применительно к каждому кластеру регионов: с высоким, средним, низким уровнями развития внешнеэкономической деятельности.

Ключевые слова: внешнеэкономический потенциал регионов; кластерный анализ; статистика; экспорт; импорт.

Доцільність функціонування вантажних митних комплексів в Україні в цілому, а також в окремо взятому регіоні залежить від попиту на митні та логістичні послуги у суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності. З метою визначення попиту на послуги вантажних митних комплексів по регіонах України запропоновано застосування методів статистичного аналізу даних для комплексної оцінки зовнішньоекономічного потенціалу регіонів.

Об'єктами спостереження були двадцять чотири області України та місто Київ в період з 2015 по 2018 роки. Як фактори оцінки зовнішньоекономічного потенціалу регіонів використовувалися показники, що відображають рівень їх розвитку: регіональні обсяги зовнішньої торгівлі товарами; експорт і импорт товарів суб'єктами господарювання за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів, кількість активних підприємств за регіонами України та видами економічної діяльності, транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність; валовий регіональний продукт; кількість суб'єктів господарювання; кількість зайнятих працівників на суб'єктах господарювання; регіональна структура обороту роздрібною торгівлі; капітальні інвестиції за регіонами; регіональна структура роздрібного товарообороту підприємств роздрібною торгівлі; обсяг реалізованої промислової продукції.

Поряд зі стандартизацією вихідних даних, кожному фактору присвоєно певний коефіцієнт важливості, який відображає значимість відповідного показника. Застосовується двоетапна методологія кластерного аналізу: попередня ідентифікація кластерів регіонів України за допомогою ієрархічних алгоритмів (побудови дендрограм) з наступним уточненням класте-

---

рів за допомогою ітераційної процедури розбиття методом  $k$ - середніх в пакеті статистичного аналізу даних *Statistica*.

В результаті класифікації області України розподілені по п'яти однорідним кластерам, що дозволить на цій основі розробити систему диференційованих заходів стосовно кожного кластеру регіонів: з високим, середнім, низьким рівнями розвитку зовнішньоекономічної діяльності. Застосування дисперсійного аналізу дозволило виділити чинники, котрі суттєво впливають на класифікацію областей по групах, і фактори, вплив яких є незначним.

**Ключові слова:** зовнішньоекономічний потенціал регіонів; кластерний аналіз; статистика; експорт; імпорт.

**Problem statement.** The important components of management strategy development for freight customs complexes in different regions of Ukraine are the development of their foreign economic potential assessment system, forecasting the volume of export and import freight flows as well as the infrastructure and production capacity level [1, 2].

The rationale for the construction of new freight customs complexes and the improvement of technical, technological, and organizational support in a particular region depend on the demand for their services and prospects for further production and economic development. This determines the relevance of a comprehensive assessment of Ukraine's foreign economic potential.

**Analysis of recent research and publications.** At present, there is no clear mechanism for the foreign economic sector comprehensive assessment. However, attempts have been made to develop a methodology for assessing regional foreign economic potential. Such authors as N. E. Kudratov, N.I., Askarov, and B.A. Isakhov [3] proposed a system of indicators for a comparative evaluation of the foreign economic situation in regions.

The theory of cluster economic management is becoming highly relevant. The concept of the cluster is a promising tool for analyzing and assessing the regional economic potential. In the clustering method, regional foreign economic complex management concentrates on the general regulation of economic processes taking place in the region [1].

B.N. Zhyzhytova [4] has developed methodological approaches to managing regional economy innovative development based on the cluster approach.

---

The cluster approach and classification methods are also used in the various fields of economy, management, and engineering [5 – 7].

In the paper [5] by applying the Fuzzy-ANP-Weighted-Distance-QC (FAWQC) method to weighted random data, the effectiveness of the method is verified. The method is applied to the 2015 Economics-Energy-Environment (3E) data for 19 provinces in China for a comparative study of the classification of the system structure and evaluation of the low-carbon economy development level.

The paper [6] highlights the relevance of both quantitative and qualitative features of applicants and proposes a new methodology based on mixed data clustering techniques. The cluster analysis may prove particularly useful in the estimation of credit risk. Credit applicants are characterized by mixed personal features, a cluster analysis specific for mixed data can lead to discovering particularly informative patterns, estimating the risk associated with credit granting.

Considering relations among dimensionality reduction, noise trading, and market situations, the paper [7] empirically investigates the effect of dimensionality-reduction methods – principal component analysis, stacked autoencoder, and stacked restricted Boltzmann machine – on stock selection with cluster analysis in different market situations.

Thus, due to the diversity and widespread use of classification methods, it is reasonable to apply the cluster analysis in the evaluation of the foreign economic potential of Ukraine's regions when assessing the demand for services provided by freight customs complexes.

**Aim.** The article aims to comprehensively assess the foreign economic potential of Ukraine's regions as well as to determine the optimal set of statistical methods and the sequence of their application to the initial data, which would give the best result in terms of their subsequent substantial interpretation.

**Statement of basic materials.** Preparation of initial data. For the comparative assessment of the foreign economic situation in the regions, fifteen factors are singled out, reflecting their development level (Table 1) [1].

The observation objects are twenty-four regions of Ukraine and the city of Kyiv in the period from 2015 to 2018.

The analyzed data is obtained based on a harmonized system of statistical indicators [8]. Despite the fact that it is consistent at the methodological level, it cannot be used without prior preparation. The main problem with the use of the factors is their presentation in different units of measurement, which may not



match. For example, data can be presented in units or thousands of units, in US dollars or the national currency, etc.

Table 1.

**Factors reflecting regional economic development**

| Factor identifier | Factors  | Units of measurement                                 |
|-------------------|--|--|
| F1                | Regional volumes of foreign goods trade, exports   | thousand dollars.                                    |
| F2                | Regional volumes of foreign goods trade, imports   | thousand dollars                                     |
| F3                | Export of goods according to the number of employees broken down by regions  | the number of foreign economic activity participants |
| F4                | Import of goods by economic entities according to the number of employees broken down by regions   | the number of foreign economic activity participants |
| F5                | Export of goods according to the number of employees broken down by regions  | million US dollars                                   |
| F6                | Import of goods by economic entities according to the number of employees broken down by regions   | million US dollars                                   |
| F7                | The number of operational enterprises in the regions of Ukraine and economic activity types, transport, warehousing, postal and courier activities | total units  |
| F8                | Gross regional product   | million UA hryvnias                                  |
| F9                | The number of economic entities by regions   | total units  |
| F10               | The number of employees working for economic entities by regions   | thousand people                                      |
| F11               | Regional retail turnover structure   | million UA hryvnias                                  |
| F12               | Capital investment by regions  | million UA hryvnias                                  |
| F13               | Retail trade enterprises` regional retail turnover structure   | million UA hryvnias                                  |
| F14               | Sold production of industry by regions   | million UA hryvnias                                  |
| F15               | Volume of products sold (work and services) by regions   | million UA hryvnias                                  |

Therefore, it is necessary to bring them to a uniform format.

Thus, the normalization (or standardization) of the initial data is done by the subtraction of the mean deviation and the division by the standard one. The indicators obtained as a result of standardization have zero mean and unit variance.

Along with the standardization, each factor is assigned a certain importance or weight coefficient indicating the significance of a corresponding indicator.

The weight vector for fifteen factors has the following form:

$W = (1,55; 1,55; 1,5; 1,5; 1,45; 1,45; 1,4; 1,35; 1,3; 1,25; 1,2; 1,15; 1,1; 1,05; 1,0)$ .

The product of normalized indices by the corresponding weights allowed identifying the distances between the points in multidimensional space, taking into account the different weights of the factors (Figure 1).

|                        | 1<br>F1   | 2<br>F2   | 3<br>F3  | 4<br>F4   | 5<br>F5   | 6<br>F6  | 7<br>F7   | 8<br>F8  | 9<br>F9   | 10<br>F10 | 11<br>F11 | 12<br>F12 | 13<br>F13 | 14<br>F14  | 15<br>F15  |
|------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Vinnitsya region       | -0,377712 | -0,553864 | -0,20356 | -0,35362  | -0,353347 | -0,51813 | -0,533718 | -0,26564 | -0,037285 | -0,29689  | -0,337293 | -0,237554 | -0,309186 | -0,2246241 | -0,2565647 |
| Volyn region           | -0,704936 | -0,24257  | -0,40252 | 0,2755024 | -0,659458 | -0,22692 | -0,555265 | -0,69258 | -0,778228 | -0,56122  | -0,61934  | -0,424228 | -0,567728 | -0,6661745 | -0,2811532 |
| Dnipropetrovsk region  | 3,6699226 | 1,0459279 | 0,935684 | 0,812968  | 3,4331576 | 0,978454 | 1,1187079 | 1,90411  | 1,8765226 | 1,651897  | 1,7778942 | 1,0678385 | 1,6295438 | 3,867345   | 0,90102594 |
| Donetsk region         | 1,7620221 | -0,014631 | -0,84859 | -0,809347 | 1,8483416 | -0,01369 | -0,208117 | 0,470298 | -0,276937 | 0,204878  | -0,320255 | -0,021445 | -0,293667 | 1,93916711 | 0,1396388  |
| Zhytomir region        | -0,790196 | -0,550796 | 0,557901 | -0,404648 | -0,739215 | -0,51526 | -0,672577 | -0,57106 | -0,558982 | -0,48681  | -0,477231 | -0,448697 | -0,437461 | -0,5481517 | -0,3575186 |
| Zakarpattia region     | -0,210005 | -0,184352 | 0,966143 | -0,217654 | -0,196456 | -0,17246 | -0,593092 | -0,75465 | -0,512079 | -0,6052   | -0,568847 | -0,498986 | -0,521443 | -0,7355164 | -0,4092264 |
| Zaporizhzhia region    | 0,8969273 | -0,165968 | -0,31901 | -0,538694 | 0,8390706 | -0,15526 | -0,169332 | 0,091941 | 0,2183984 | 0,102715  | 0,1857984 | -0,177427 | 0,1703152 | 1,09375319 | -0,0633202 |
| Ivano-Frankivsk region | -0,735316 | -0,486168 | -0,04881 | 0,192963  | -0,687877 | -0,45481 | -0,661085 | -0,53163 | -0,581161 | -0,56971  | -0,3789   | -0,330939 | -0,347325 | -0,3980912 | -0,367082  |
| Kyiv region            | 0,0749907 | 0,6239778 | 0,497475 | 0,3956323 | 0,0701509 | 0,583719 | 0,7054818 | 0,407476 | 0,6035126 | 0,346814  | 0,6469333 | 0,7415185 | 0,5930222 | 0,13394515 | 0,2061125  |
| Kirovohrad region      | -0,863071 | -0,633559 | -0,98074 | -0,990421 | -0,807392 | -0,59268 | -0,719502 | -0,63305 | -0,931795 | -0,64564  | -0,686413 | -0,461696 | -0,629211 | -0,6678596 | -0,3661276 |
| Luhans'k region        | -0,978072 | -0,586076 | -1,40471 | -1,142863 | -0,914971 | -0,54826 | -0,878951 | -0,85207 | -1,364753 | -0,71367  | -1,098555 | -0,597349 | -1,007009 | -0,9392273 | -0,4387248 |
| Lviv region            | -0,111157 | 0,1389306 | 0,860029 | 2,093608  | -0,103978 | 0,129969 | 0,228572  | 0,262717 | 1,0378585 | 0,453686  | 0,67505   | 0,2083485 | 0,6187959 | -0,0388882 | -0,0376308 |
| Mykolaiv region        | 0,1256449 | -0,421027 | -0,86333 | -0,909162 | 0,1175303 | -0,39387 | -0,216257 | -0,48918 | -0,492587 | -0,51153  | -0,469944 | -0,327165 | -0,430782 | -0,3916794 | -0,2870743 |
| Odesa region           | 0,0265205 | -0,166114 | 0,339288 | 0,3705186 | 0,0248168 | -0,1554  | 2,7524593 | 0,284698 | 1,3994573 | 0,34076   | 1,147155  | 0,0714699 | 1,0515588 | -0,3520976 | 0,03776962 |
| Poltava region         | 0,0188838 | -0,273467 | -0,78031 | -0,695935 | 0,0176608 | -0,25582 | -0,346976 | 0,270835 | -0,322567 | -0,08387  | -0,312    | -0,092254 | -0,286    | 0,79306177 | -0,0924612 |
| Rivne region           | -0,913416 | -0,600645 | -0,61328 | -0,155111 | -0,854486 | -0,5619  | -0,624694 | -0,69111 | -0,885615 | -0,62571  | -0,6491   | -0,494004 | -0,595008 | -0,5774392 | -0,4043458 |
| Sumy region            | -0,710163 | -0,492174 | -0,60935 | -0,743283 | -0,664351 | -0,46042 | -0,80186  | -0,60356 | -0,843925 | -0,54196  | -0,634635 | -0,470516 | -0,581749 | -0,4953318 | -0,3613639 |
| Terнопil region        | -0,928477 | -0,578504 | -0,99155 | -0,463303 | -0,866705 | -0,54118 | -0,81     | -0,77952 | -0,904576 | -0,67835  | -0,780196 | -0,469195 | -0,715179 | -0,7578868 | -0,392496  |
| Kharkiv region         | -0,317954 | -0,063869 | 1,122365 | 0,6786016 | -0,297447 | -0,05974 | 0,2707086 | 0,711105 | 2,1615552 | 0,8319    | 1,3913246 | 0,0481535 | 1,2753809 | 0,83873791 | 0,07619136 |
| Kherson region         | -0,993541 | -0,628462 | -1,01317 | -0,983063 | -0,929434 | -0,58792 | -0,473865 | -0,7084  | -0,71466  | -0,65043  | -0,521429 | -0,472838 | -0,477977 | -0,6666243 | -0,3978639 |
| Khmelnyts'k region     | -0,853249 | -0,562838 | -0,72922 | -0,488627 | -0,798208 | -0,52652 | -0,598838 | -0,55679 | -0,349818 | -0,48151  | -0,534445 | -0,319259 | -0,489908 | -0,5405669 | -0,356479  |
| Cherkasy region        | -0,766091 | -0,576838 | -0,68093 | -0,720409 | -0,718663 | -0,53963 | -0,351285 | -0,43135 | -0,534424 | -0,43291  | -0,49577  | -0,402413 | -0,454456 | -0,2794678 | -0,2595085 |
| Chernivtsi region      | -1,077243 | -0,67211  | -0,52043 | -0,583963 | -1,00774  | -0,62875 | -0,848785 | -0,90184 | -0,764941 | -0,76033  | -0,803624 | -0,603593 | -0,736655 | -0,8423024 | -0,4554584 |
| Chernihiv region       | -0,756678 | -0,527628 | -0,60149 | -0,907242 | -0,707855 | -0,49358 | -0,561011 | -0,61771 | -0,876697 | -0,602    | -0,67577  | -0,458619 | -0,619456 | -0,639086  | -0,3569037 |
| Kyiv city              | 5,5103664 | 7,1728239 | 6,312096 | 6,2872801 | 5,1548555 | 6,71006  | 5,549277  | 5,678951 | 4,4337244 | 5,304886  | 4,5397999 | 5,1708469 | 4,1614832 | 0,99500519 | 4,58096455 |

Fig. 1. Initial data after standardization and the weighting of factors

**Cluster data analysis.** There is a wide variety of methods for classifying objects. Hierarchical methods and the k-means method are the most common and widespread in statistical data processing packages characterized by relative simplicity, the high quality of obtained results, their interpretability, and wide possibilities for setting partitioning rules [9, 10].

The advantages of hierarchical cluster analysis methods include the possibility of constructing dendrograms, i.e. treecustering, in which classification stages and the distance between classes are clear. The basis of the algorithm is a distance matrix, which is formed based on consolidation rules and distance calculations.

One of the common hierarchical classification methods is Ward's method, the algorithm of which consists in determining the distances between groups using variance analysis methods [9, 10].

---

In k-means clustering, the number of clusters that should be produced is required as input, and the algorithm operates by iteratively assigning points to clusters represented by cluster centroids, which are updated in each iteration. A cluster centroid is calculated by taking the average in each dimension of all data points included in the cluster. The algorithm is initiated by assigning k randomly chosen points in the data set as centroids, and it iterates between two steps until the clusters have stabilized.

The k-means method is considered to be more optimal in comparison with Ward's method both in terms of quantitative and qualitative partition structure. In addition, the result of partitioning with respect to the number of clusters in this method is strictly determined, which is, on the one hand, a positive point because it makes it possible to analyze stable and relatively homogeneous groups over time, and, on the other hand, it presents a problem because this quantity has to be previously determined.

Thus, in the first stage, using Statistica, the suite of analytics software products, a hierarchical classification was applied. Ward's method was used as a rule for the consolidation of observations into clusters, and the Euclidean distance was applied as the distance between observations. A graphical representation of the hierarchical classification results in the form of a dendrogram is shown in Figure 2.

The dendrogram shows the presence of several groups of neighboring observations, which are grouped into clusters at a short distance of about 1–10 units of the normalized scale. At the same time, there is also a single observation (the city of Kyiv), which is combined with the entire main group at a distance of 38 units and the values of which dramatically differ from the given consolidation. At the same time, the inclusion of the given observation in any cluster will seriously shift its center, leading to the classification distortion.

To determine the optimal number of clusters that the regions should be divided into, a horizontal line was drawn at a distance of 8 units of the normalized scale. Based on the classification results, five clusters are singled out.

Based on the fact that the sample consists of five clusters, the classification of observation by the k-means method was performed. Observations that maximize the initial distances between clusters were chosen as the cluster centroids.

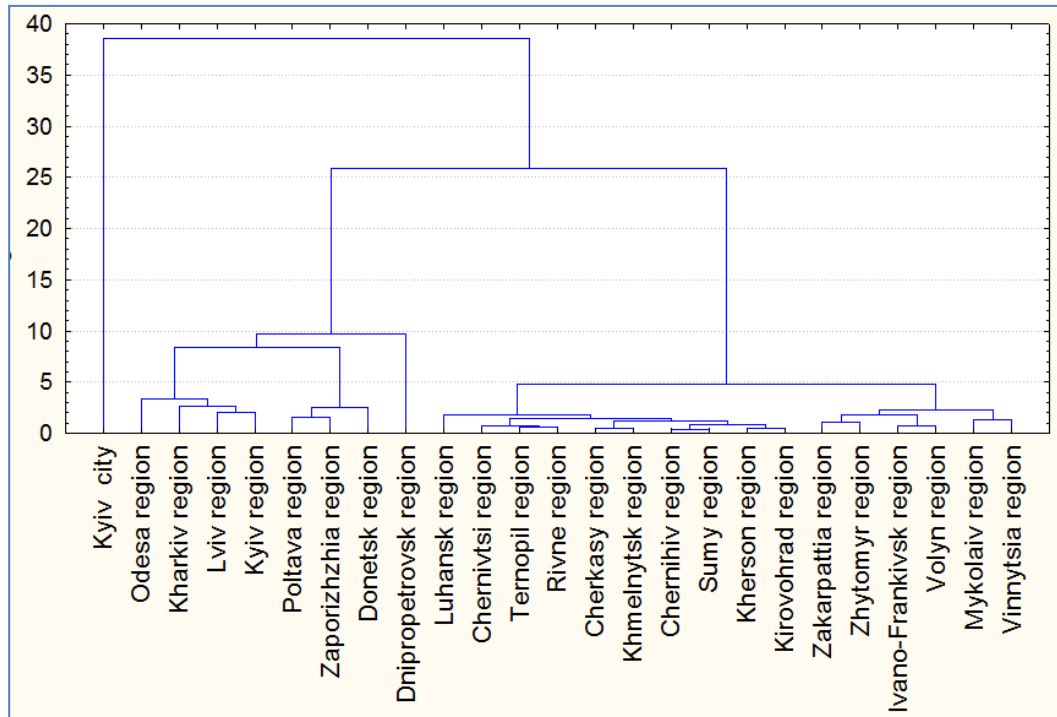


Fig. 2. Graphical representation of the hierarchical classification

As a result of classification by the k-medium method, Ukraine`s regions are distributed by clusters as follows (table 2):

Table 2.

### Cluster distribution

| Cluster   | Number of observations | Regions  |
|-----------|------------------------|--|
| Cluster 1 | 6                      | Kyiv region, Lviv region, Odesa region, Kharkiv region, Zaporizhzhia region, Donetsk region  |
| Cluster 2 | 1                      | Kyiv city  |
| Cluster 3 | 7                      | Vinnytsia region, Volyn region, Zhytomyr region, Transcarpathian region, Ivano-Frankivsk region, Mykolaiv region, Poltava region   |
| Cluster 4 | 10                     | Kirovohrad region, Rivne region, Sumy region, Ternopil region, Kherson region, Khmelnytskyi region, Cherkasy region, Chernivtsi region, Chernihiv region, Luhansk region |
| Cluster 5 | 1                      | Dnipropetrovsk region  |

Figure 3 presents Euclidean distances and squared Euclidean distances between clusters.

| Cluster Number | Euclidean Distances between Clusters (KL_W.sta) |          |                                  |          |          |
|----------------|---|----------|----------------------------------|----------|----------|
|                | Distances below diagonal                        |          | Squared distances above diagonal |          |          |
|                | No. 1   | No. 2    | No. 3                            | No. 4    | No. 5    |
| No. 1          | 0,000000  | 25,29766 | 0,64675                          | 1,19065  | 2,75650  |
| No. 2          | 5,029678  | 0,00000  | 32,65159                         | 36,02443 | 16,06244 |
| No. 3          | 0,804205  | 5,71416  | 0,00000                          | 0,11099  | 5,55716  |
| No. 4          | 1,091170  | 6,00204  | 0,33315                          | 0,00000  | 7,00161  |
| No. 5          | 1,660269  | 4,00780  | 2,35736                          | 2,64606  | 0,00000  |

Fig. 3. Euclidean distances and squared Euclidean distances

The Euclidean distance (values below the diagonal) is the distance between the sets of variables (F1 – F15) for each cluster of regions and it is equivalent to the distance between the clusters according to the selected indicators. The smaller the distance between objects, the more similar they are. Clusters are at greater distances from each other when Euclidean distances are greater than unity. The squared Euclidean distance (values above the diagonal) is used to give more weight to more distant objects.

The greatest distance is between clusters four and two, three and two, that is, they are the least similar. Clusters four and three, three and one are almost equidistant from each other since Euclidean distances are less than unity.

The average values for each cluster are presented in a linear graph (Fig. 4).

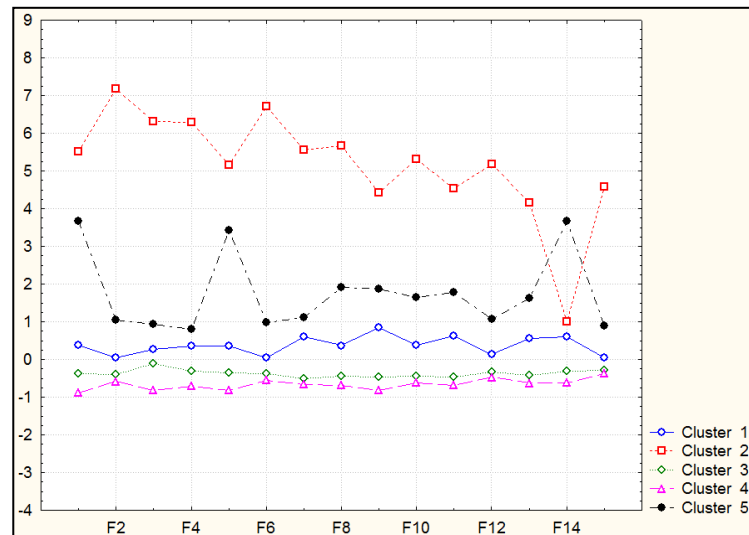


Fig. 4. Linear graph of clusters

The linear graph clearly shows 5 clusters. The average values differ from each other. This indicates a qualitative clustering. As the graph shows, the distance between the average characteristics of the clusters is large, and the total distance between the cluster centroids is significant, which indicates successful clustering.

Figure 5 shows the results of the variance analysis of factors by clusters.

| Variable | Analysis of Variance (KL_W.sta) |    |           |    |          |           |
|----------|---------------------------------|----|-----------|----|----------|-----------|
|          | Between SS                      | df | Within SS | df | F        | signif. p |
| F1       | 53,57055                        | 4  | 4,089447  | 20 | 65,4985  | 0,000000  |
| F2       | 57,04755                        | 4  | 0,612454  | 20 | 465,7295 | 0,000000  |
| F3       | 47,85967                        | 4  | 6,140327  | 20 | 38,9716  | 0,000000  |
| F4       | 46,78033                        | 4  | 7,219666  | 20 | 32,3978  | 0,000000  |
| F5       | 46,88121                        | 4  | 3,578786  | 20 | 65,4988  | 0,000000  |
| F6       | 49,92402                        | 4  | 0,535977  | 20 | 465,7289 | 0,000000  |
| F7       | 40,45891                        | 4  | 6,581088  | 20 | 30,7388  | 0,000000  |
| F8       | 42,61187                        | 4  | 1,128134  | 20 | 188,8599 | 0,000000  |
| F9       | 35,80559                        | 4  | 4,754412  | 20 | 37,6551  | 0,000000  |
| F10      | 36,87563                        | 4  | 0,624367  | 20 | 295,3043 | 0,000000  |
| F11      | 32,24688                        | 4  | 2,313124  | 20 | 69,7042  | 0,000000  |
| F12      | 31,05556                        | 4  | 0,684437  | 20 | 226,8694 | 0,000000  |
| F13      | 27,09633                        | 4  | 1,943667  | 20 | 69,7041  | 0,000000  |
| F14      | 21,01853                        | 4  | 5,441470  | 20 | 19,3133  | 0,000001  |
| F15      | 23,85569                        | 4  | 0,144314  | 20 | 826,5212 | 0,000000  |

Fig. 5. Variance analysis of factors by clusters

The table shows the values of the between-group (Between SS) and within-group (WithinSS) variances of indicators. The smaller the value of the within-group variance and the greater the value of the between-group variance, the better the factor characterizes the cluster membership of objects and the "better" clustering is. For all parameters, the between-group variance is greater than 21, and the within-group variance is less than 6.58.

The cluster membership of objects is best characterized by the following factors: F2 – regional volume of foreign goods trade, import; F6 – import of goods by economic entities according to the number of employees broken down by regions, F10 – the number of employees working for economic entities by regions, and F12- capital investment by regions since they correspond to the largest difference between intergroup and intragroup variances. Indicator F14 – sold production of industry by regions characterizes the cluster membership to the least extent (it corresponds to the smallest difference of variances).

Factors with the values of  $p > 0.05$  can be excluded from the clustering procedure, since for these indicators there is no significant difference in the

---

average values of clusters, that is, the factor is not informative when conducting the cluster analysis. In our case, for any indicator  $p < 0.05$ , which means that we will not exclude any of the factors under consideration. Parameters  $F$  and  $p$  also characterize the influence of the factor on the division of objects into groups.

Better clustering is achieved with the higher values of the first parameter and lower values of the second one. The table shows that the best indicators specified above correspond to the maximum difference between  $F$  and  $p$  for factors F15, F2, F6, which significantly affect the classification of regions into groups, and the factor with minor influence on the clustering process is F14.

**Conclusions.** As a result of the analysis of the factors underlying the division of data into clusters based on the k-means method and the hierarchical method, it was determined that the best result is achieved by a combination of these methods, when at the first stage, the number of clusters is determined with the help of the analysis of hierarchical algorithm visualization (building dendrograms), based on which k-means partitioning is performed.

The cluster analysis results made it possible to single out five clusters and classify observations according to these clusters. The obtained clusters are homogeneous in composition and can be interpreted: the second cluster, which includes the city of Kyiv, and the fifth cluster corresponding to the Dnipropetrovsk region, can be described as clusters with a high level of foreign economic activity development. The first cluster, consisting of 6 observations, includes the following regions with an average level of foreign economic activity development: Kyiv region, Lviv region, Odesa region, Kharkiv region, Zaporizhia region, and Donetsk region. The remaining regions belong to clusters 3 and 4 and are characterized by low foreign economic activity development levels.

The clustering of regions will help to systematize them according to the main problems associated with the development of foreign economic relations, and on this basis to develop a system of differentiated measures for each cluster of regions – with high, average, and low levels of foreign economic activity development.

#### **References:**

1. Luzhanskaia, N.A.: Methodical support assessment of demand for the services of cargo customs complexes in Ukraine regions. *Bul. of BSUT: S&T* 1(38), 97–100 (2019)

- 
2. Luzhanska, N. A., Kotsiuk, A. Y., Lebid, I. H., Kravchenya, I. N., Demchenko, Ye. B.: Classification of parameters affecting customs and logistics infrastructure efficiency. *Bul. of BSUT: S&T* 2 (39), 30–32 (2019)
  3. Kudratov, N. E. Askirov, N. I., Isakhov, B. A.: Methodological issues of assessing the development level of the export potential of the regions. *Vop. Statist.* 2, 48-49 (2001)
  4. Zhygzhytova, B.N.: Improving the organizational and economic mechanism for managing the innovative development of a region based on a cluster approach. Dissertation, East Siberia State University of Technology and Management (2007)
  5. Decheng, F., Jon, S., Pang, Ch., Dong W., Won, Ch.: Improved quantum clustering analysis based on the weighted distance and its application. *Helv. Phys. Acta* 4 (11), (2018). Article e00984. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00984>
  6. Caruso, G., Gattone, S. A., Fortuna F., Di, T.: Battista Cluster Analysis for mixed data: An application to credit risk evaluation. *Soc.-Econ. Plan. S.* (2020). Article 100850. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100850>
  7. Han, J., Ge, Zh.: Effect of dimensionality reduction on stock selection with cluster analysis in different market situations. *Exp. Sys. with App.*, 147 (2020). Article 113226. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113226>
  8. State Statistics Service of Ukraine. <http://www.ukrstat.gov.ua/> (2018). Accessed 15 Jun 2020
  9. Cluster Analysis. <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/cluster-analysis> (2020). Accessed 15 Jun 2020
  10. Fang, Zh.: The Methods and Tools for Clustering Analysis. *Ref. Mod. in Biom. S.* (2020). doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11463-1



DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.1-59.5>

УДК 656:51-74

**О. О. Гордєєв**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри кібербезпеки Університету банківської справи

**А. Л. Лапшин**, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки Університету банківської справи

## **МОДЕЛЬ СТРУКТУРНО-СЕМАНТИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОФІЛІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: ОПЕРАЦІЯ ОБ'ЄДНАННЯ**

*У статті розглядається проблема опису формалізації профілювання програмного забезпечення (ПЗ). Першочерговим завданням формалізації профілювання ПЗ є завдання представлення та опису профілів ПЗ. У статті вона вирішується за рахунок представлення профілю ПЗ у вигляді семантичних таксономічних структур (ієрархій, фасет і змішаних структур). Тобто кожен профіль ПЗ складається зі структури (множини таксонів і класифікаційних ознак) і семантичного наповнення. Як приклад, в статті профіль вимог представляється у вигляді семантичної таксономічної структури, а саме як ієрархія з семантичним наповненням таксонів і класифікаційних ознак на рівні слів з вимог. Тобто неподільної семантичної одиницею є слово в реченні. Як приклад, у статті семантичної неподільної одиницею є слово в реченні вимог ПЗ. Варто відзначити, що множини елементів множин таксонів і класифікаційних ознак представлені у вигляді кортежів, оскільки для кожного слова важливо його положення у реченні.*

*Для виконання процесу профілювання та формування профілю ПЗ розглядається і формально описується операція об'єднання семантичних таксономічних структур. Для її реалізації вводяться окремі типи операції об'єднання: об'єднання в ширину, об'єднання в глибину і змішані об'єднання. Також описуються умови, при яких такі типи операцій об'єднання можуть застосовуватися при профілюванні ПЗ. При об'єднанні семантичних таксономічних структур сформульовані та формально описані ступені відповідності таких структур між собою: сильна, допустима й слабка. Ступінь відповідності при об'єднанні семантичних таксономічних структур, яка буде необхідна при об'єднанні семантичних таксономічних структур*

© **О. О. Гордєєв, А. Л. Лапшин, 2020**

---

визначається експертом. Для виконання операції об'єднання семантичних таксономічних структур докладно описаний алгоритм виконання такої операції. Графічно представлені й формально описані варіанти об'єднання ієрархічних і фасетних структур – всього 12 варіантів для кожного типу семантичних таксономічних структур.

Ключові слова: профілювання ПЗ, профіль ПЗ, фасетно-ієрархічні структури, об'єднання фасетно-ієрархічних структур.

*В статье рассматривается проблема описания формализации профилирования ПО. Первоочередной задачей формализации профилирования ПО является задача представления и описания профилей ПО. В статье она решается за счет представления профиля ПО в виде семантических таксономических структур (иерархий, фасет и смешанных структур). Т.е. каждый профиль ПО состоит из структуры (множества таксонов и классификационных признаков) и семантического наполнения. Для примера, в статье профиль требований представляется в виде семантической таксономической структуры – иерархией с семантическим наполнением таксонов и классификационных признаков на уровне слов из требований. Т.е. неделимой семантической единицей является слово в предложении. В качестве примера в статье семантической неделимой единицей является слово в предложении требований ПО. Стоит отметить, что множества элементов множеств таксонов и классификационных признаков представлены в виде картежей, поскольку для каждого слова важно его положение в предложении.*

*Для выполнения процесса профилирования и формирования профиля ПО рассматривается и формально описывается операция объединения семантических таксономических структур. Для ее реализации вводятся отдельные типы операции объединения: объединение в ширину, объединение в глубину и смешенное объединение. Также описываются условия, при которых такие типы операций объединения могут применяться при профилировании. При объединении семантических таксономических структур сформулированы и формально описаны степени соответствия таких структур между собой: сильная, допустимая и слабая. Степень соответствия при объединении семантических таксономических структур, которая будет необходима при объединении семантических таксономических структур определяется экспертом. Для выполнения операции объединения семантических таксономических структур подробно описан алгоритм выполнения такой операции.*

---

*В статье графически представлены и формально описаны варианты объединения иерархических и фасетных структур – всего 12 вариантов для каждого типа семантических таксономических структур.*

*Ключевые слова: профилирование ПО, профиль ПО, фасетно-иерархические структуры, объединение фасетно-иерархических структур.*

*The article considers the problem of describing the formalization of software profiling. The primary task of software profiling formalizing is the task of presenting and describing of software profiles. In the article, it is solved by representing the software profile in the form of semantic taxonomic structures (hierarchies, facets and mixed structures). Thus, each software profile consists of a structure (many taxa and classification features) and semantic content. For example, in the article, the requirements profile is presented in the form of a semantic taxonomic structure – a hierarchy in the semantic filling of taxa and classification features at the level of words from the requirements. Those. an indivisible semantic unit is a word in a sentence. As an example, in the article, the semantic indivisible unit is the word in the software requirements sentence. It is worth noting that the set of elements of the sets of taxa and classification features are presented in the form of cartage, since for each word its position in the sentence is important.*

*To perform the process of profiling and forming of a software profile, the operation of combining semantic taxonomic structures is considered and formally described. For its implementation, separate types of union operations are introduced: union in width, union in depth and mixed union. It also describes the conditions under which these types of merge operations can be used for profiling. When combining semantic taxonomic structures, the degree of correspondence of such structures with each other is formulated and formally described: strong, permissible, and weak. The degree of correspondence when combining semantic taxonomic structures, which will be necessary when combining semantic taxonomic structures, is determined by the expert. To perform the operation of combining semantic taxonomic structures, an algorithm for performing such an operation is described in detail.*

*The article graphically presents and formally describes the options for combining hierarchical and facet structures – a total of 12 variants for each type of semantic taxonomic structures.*

*Key words: software profiling, software profile, facet-hierarchical structures, union of facet-hierarchical structures.*

**Вступ.** В процесі розробки та оцінюванні якості ПЗ в залежності від етапу життєвого циклу (ЖЦ) ПЗ існує необхідність у формуванні множин

---

характеристик ПЗ, вимог ПЗ, потенційних ризиків ПЗ, тестів ПЗ, дефектів ПЗ, технік верифікації ПЗ, метрик оцінки ПЗ тощо. Процес формування таких множин називається профілюванням ПЗ, а його продуктом є профіль ПЗ. **Профілювання ПЗ** – це процес формування (вибору й гармонізації) підмножини пов'язаних елементів із загальної множини елементів або з декількох пов'язаних підмножин елементів в загальну множину у вигляді таксономічної структури (ієрархічної, фасетної, фасетно-ієрархічної структури) таких елементів з семантичним змістом, враховуючи критерії вибору (критерії профілювання). Об'єктами профілювання зазвичай є характеристики ПЗ, вимоги ПЗ, ризики розробки ПЗ, тести ПЗ, дефекти ПЗ, техніки верифікації ПЗ, метрики оцінки ПЗ. **Профіль ПЗ** [1] – це результат (продукт) профілювання, який представляється у вигляді пов'язаної таксономічної структури (ієрархічної, фасетної, фасетного-ієрархічної структури) елементів з семантичним змістом. Профілі ПЗ можуть бути наступними: профіль характеристик ПЗ, профіль вимог ПЗ, профіль ризиків ПЗ, профіль тестів ПЗ, профіль дефектів ПЗ, профіль технік верифікації, профіль метрик оцінювання ПЗ. Роботи по формуванню профілів ПЗ виконуються, як правило, експертом аналітично, спираючись на свій досвід, національну і міжнародну нормативну базу. Така робота вимагає від експерта відповідного досвіду, знань та зосередженості.

**Постановка задачі.** Представлення профілю ПЗ, а також процес профілювання повинні бути формалізованими. Аналіз існуючих робіт, пов'язаних з проблематикою формалізації профілювання ПЗ, можна розділити на декілька груп. У першій групі робіт представлена та описана проблема формалізації представлення профілів ПЗ [2-7] та профілювання ПЗ. Автори у таких дослідженнях не пропонують варіанти підходів до профілювання ПЗ. У другій групі робіт автори розглядають профілювання ПЗ на рівні таксономічних фасетного-ієрархічних структур [8-12]. В цих роботах розглядається представлення профілів ПЗ тільки на рівні їх структур: ієрархічна, фасетна і змішана – фасетного-ієрархічна без семантичного наповнення. Варто також відзначити, що відсутність такої формалізації не може забезпечити необхідну автоматизацію процесу профілювання ПЗ, тобто безпосередньо формування профілю ПЗ. Неавтоматизований процес профілювання ПЗ підвищує ризик здійснення помилок експертом, а також вимагає від нього істотних додаткових витрат часу.

---

**Метою статті є формалізований опис перетворення профілів ПЗ з використанням операції об'єднання семантичних таксономічних структур.**

**Результати дослідження.**

**Формальний опис семантичної таксономічної структури.** Кожен елемент семантичної таксономічної структури містить у собі семантичне наповнення (семантичні класифікаційні ознаки і семантичні таксони). У фізичному представленні – це набір пов'язаних слів в єдиний осмислений текст. Будемо вважати, що елементами семантичного наповнення є окремі слова в реченні (іменники, прикметники, дієслова ) без урахування прийменників, займенників тощо. Тобто неподільним елементом для опису семантичного змісту таксонів і класифікаційних ознак будемо вважати слово. Відзначимо, що в даному випадку послідовність семантичних елементів є важливою і при їх описі повинна бути врахована. Таким чином таксономічний зміст можна описати у вигляді двох наступних множин (кортежів):

$$- STE_{ts(index),i} = \left\langle ste_{ts(index),j} \right\rangle_{j=1}^n - \text{множина елементів семантичного}$$

таксона (Semantic Taxon Elements);

$$- SCFE_{ts(index),i} = \left\langle scfe_{ts(index),j} \right\rangle_{j=1}^n - \text{множина елементів семантичної}$$

класифікаційної ознаки (Semantic Classification Feature Elements).

Схематично перетворення тексту вимоги в семантичний таксон і формування класифікаційної ознаки представлені на рис. 1 та рис. 2 відповідно. Представимо елементи семантичного таксона (1) та семантичної класифікаційної ознаки (2) у вигляді множин (кортежів).

Семантичні індекси таксонів (*STI* – Semantic Taxon Index) і класифікаційних ознак (*SCFI* – Semantic Classification Feature Index) формуються експертом. Як правило, це слово або нерозривне словосполучення. Основне призначення таких індексів – це у стислій, зрозумілій формі відобразити семантичне наповнення елемента семантичної таксономічної структури у вигляді одного слова або нерозривного словосполучення для більш швидкого знаходження й встановлення відповідності між собою для семантичних таксонів, семантичних класифікаційних ознак і попарно семантичних індексів і семантичних таксонів, семантичних індексів та семантичних класифікаційних ознак.

$$STE_{F(1),1} = \left\langle \begin{array}{l} ste_{F(1),1}, ste_{F(1),2}, ste_{F(1),3}, ste_{F(1),4}, ste_{F(1),5}, \\ ste_{F(1),6}, ste_{F(1),7}, ste_{F(1),8}, ste_{F(1),9}, ste_{F(1),10}, \\ ste_{F(1),11}, ste_{F(1),12}, ste_{F(1),13}, ste_{F(1),14}, ste_{F(1),15}, \\ ste_{F(1),16}, ste_{F(1),17} \end{array} \right\rangle, \quad (1)$$

$$SCFE_{F(1),1} = \left\langle \begin{array}{l} scfe_{F(1),1}, scfe_{F(1),2}, scfe_{F(1),3}, scfe_{F(1),4}, scfe_{F(1),5}, \\ scfe_{F(1),6}, scfe_{F(1),7}, scfe_{F(1),8}, scfe_{F(1),9}, scfe_{F(1),10}, \\ scfe_{F(1),11}, scfe_{F(1),12}, scfe_{F(1),13}, scfe_{F(1),14}, scfe_{F(1),15} \end{array} \right\rangle. \quad (2)$$

**Формування профілюобразуючої семантичної таксономічної структури.** Усі операції із семантичними таксономічними структурами, як правило, зводяться до операцій об'єднання та розбиття. У цій статті розглянемо більш детально операцію об'єднання.

**Операція об'єднання таксономічних структур.** Оскільки профілі ПЗ представляються у вигляді семантичних таксономічних структур і процес профілювання зводиться до формальних операцій над ними, розглянемо такі операції на прикладі профілів вимог ПЗ.

Усі операції можна поділити на 2 великі групи: операції об'єднання й розбиття. Об'єднання застосовується, коли необхідно з кількох (більше двох) джерел (приватних профілів) сформуванню необхідний профіль вимог. Розбиття застосовується, коли із загального профілю вимог необхідно сформуванню необхідний приватний профіль вимог. У статті буде розглянута тільки операція об'єднання. Варто відзначити, що операції об'єднання та розбиття семантичних таксономічних структур є уніфікованими для всіх видів таких структур (ієрархічних та фасетних).

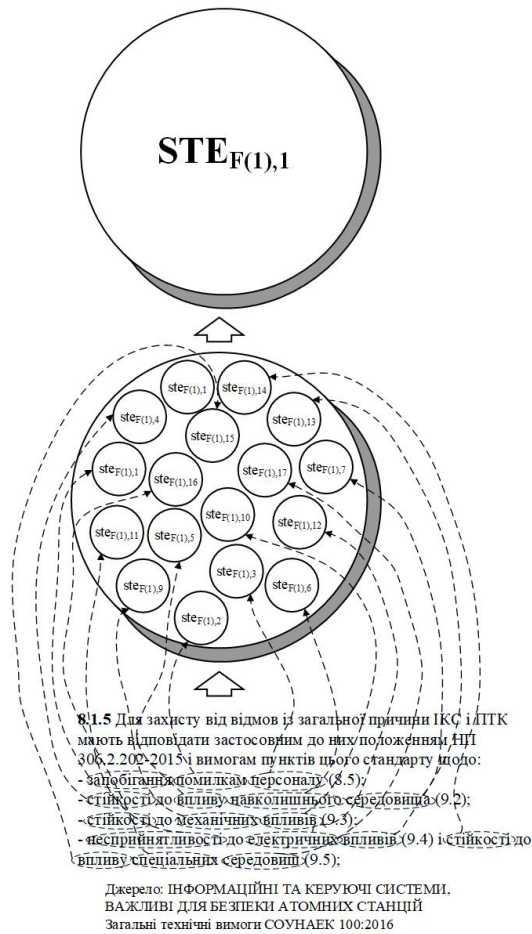


Рис. 1. Схематичне представлення перетворення тексту вимоги в семантичний таксон

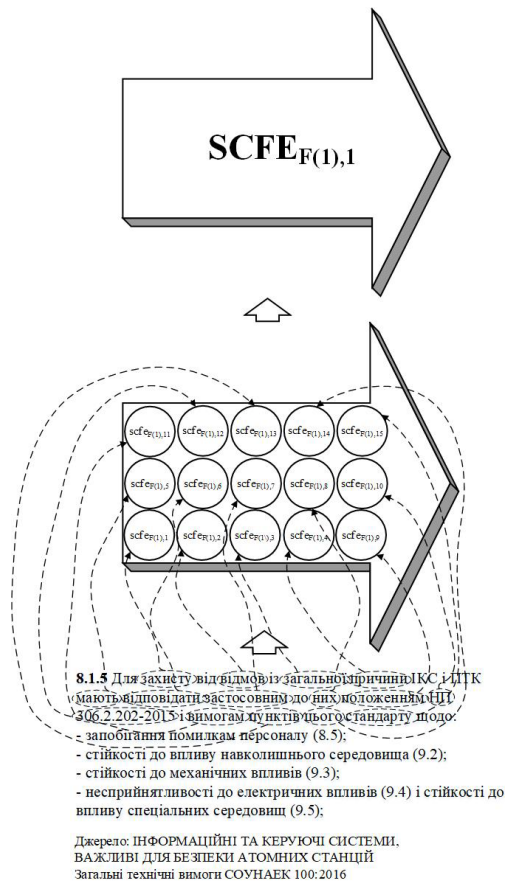


Рис. 2. Схематичне представлення тексту класифікаційної вимоги у семантичну класифікаційну ознаку

Насамперед опишемо операцію об'єднання семантичних таксономічних структур. Для цього введемо кілька елементів операції об'єднання:  $\cup$  – об'єднання в ширину,  $\cup \downarrow$  – об'єднання в глибину,  $\cup_{FHS}$  – змішане об'єднання.

Розглянемо наступні умови, які можуть бути використані для введених елементів операції об'єднання:

---

– для об'єднання в глибину ( $\cup \downarrow$ ):

$$|SCF_{H(F)}| > \max(|SCF_{H(F)(1)}| \vee |SCF_{H(F)(2)}|);$$

– для об'єднання в ширину ( $\cup \rightarrow$ ):

$$\begin{cases} |SCF_{H(F)}| = \max(|SCF_{H(F)(1)}| \vee |SCF_{H(F)(2)}|) \\ |ST_{H(F)}| > \max(|ST_{H(F)(1)}| \vee |ST_{H(F)(2)}|) \end{cases};$$

– для змішаного об'єднання ( $\cup_{FHS}$ ): відсутній будь-який шлях з однієї ієрархічної структури в іншу.

При об'єднанні семантичних таксономічних структур, коли перетин їх елементів не є порожньою множиною існують відмінності в ступені подібності (еквівалентності) між елементами семантичних класифікаційних ознак та таксонів. Таким чином такі елементи можуть відповідати один одному (бути еквівалентними) у різному ступені. Серед таких ступенів можливо виділити сильну, достатню й слабку відповідність.

Проаналізуємо такі варіанти ступенів відповідності більш детально для семантичних класифікаційних ознак і таксонів в ієрархічних і фасетних структурах:

1. Сильний ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою множиною, а кількість еквівалентних (загальних) елементів семантичних класифікаційних ознак більша, ніж кількість нееквівалентних (тих, що відрізняються) елементів в кожній з двох семантичних класифікаційних ознак (рис. 3).

Представимо такий варіант в більш формалізованому вигляді (3).

$$\begin{aligned} SCF_{H(F)} &= SCF_{H(F)(1)} \cup SCF_{H(F)(2)}; SCF_{H(F)(1)} \cap SCF_{H(F)(2)} \neq \emptyset : \\ & \left( |SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j}| > |SCFE_{H(F)(1),i} / SCFE_{H(F)(2),j}| \right) \quad (3) \\ & \wedge \left( |SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j}| \geq |SCFE_{H(F)(2),j} / SCFE_{H(F)(1),i}| \right) \end{aligned}$$

2. Сильний ступінь відповідності семантичних таксонів за аналогією з семантичними класифікаційними ознаками існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою



множиною, а кількість еквівалентних (загальних) елементів семантичних таксонів більша, ніж кількість нееквівалентних (тих, що відрізняються) елементів в кожному з двох семантичних таксонів (рис. 4).

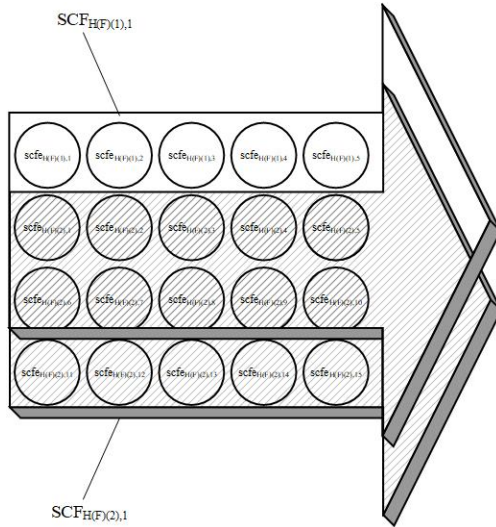


Рис. 3. Сильний ступінь відповідності елементів семантичних класифікаційних ознак

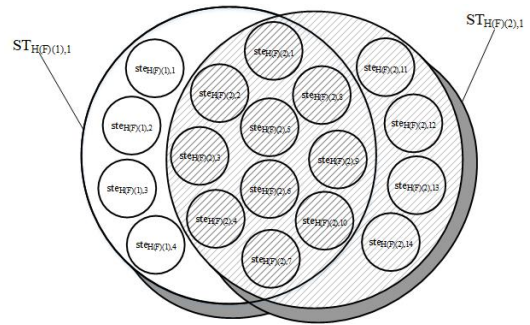


Рис. 4. Сильний ступінь відповідності елементів семантичних таксонів

Представимо такої варіант у більш формалізованому вигляді (4).

$$\begin{aligned}
 ST_{H(F)} &= ST_{H(F)(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(F)(2)}; ST_{H(F)(1)} \cap ST_{H(F)(2)} \neq \emptyset : \\
 \left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| > \left| STE_{H(F)(1),i} / STE_{H(F)(2),j} \right| \right) & \quad (4) \\
 \wedge \left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| > \left| STE_{H(F)(2),j} / STE_{H(F)(1),i} \right| \right)
 \end{aligned}$$

3. Достатній ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою множиною, а кількість еквівалентних (загальних) елементів семантичних класифікаційних ознак більша, ніж кількість нееквівалентний (тих, що відрізняються) елементів в одній з двох семантичних класифікаційних ознак (рис. 5).

Представимо такий варіант в більш формалізованому вигляді (5).

$$SCF_{H(F)} = SCF_{H(F)(1)} \cup SCF_{H(F)(2)}; SCF_{H(F)(1)} \cap SCF_{H(F)(2)} \neq \emptyset : \\ \left( \left| SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j} \right| > \left| SCFE_{H(F)(1),i} / SCFE_{H(F)(2),j} \right| \right) \\ \vee \left( \left| SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j} \right| > \left| SCFE_{H(F)(2),j} / SCFE_{H(F)(1),i} \right| \right) \quad (5)$$

4. Достатній ступінь відповідності семантичних таксонів існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою множиною, а кількість еквівалентних (загальних) елементів семантичних таксонів більша, ніж кількість нееквівалентних (тих, що відрізняються) елементів в одному з двох семантичних таксонів (рис. 6).

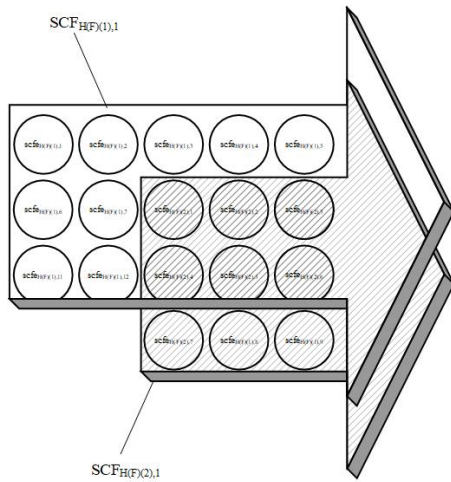


Рис. 5. Достатній ступінь відповідності елементів семантичних класифікаційних ознак

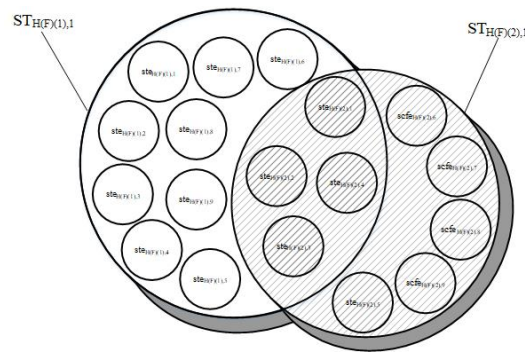


Рис. 6. Достатній ступінь відповідності елементів семантичних таксонів

Представимо такий варіант в більш формалізованому вигляді (6).

$$ST_{H(F)} = ST_{H(F)(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(F)(2)}; ST_{H(F)(1)} \cap ST_{H(F)(2)} \neq \emptyset : \\ \left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| > \left| STE_{H(F)(1),i} / STE_{H(F)(2),j} \right| \right) \\ \vee \left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| > \left| STE_{H(F)(2),j} / STE_{H(F)(1),i} \right| \right) \quad (6)$$

5. Слабкий ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою множиною, а кількість еквівалентних (загальних)

елементів семантичних класифікаційних ознак менша, ніж кількість нееквівалентних (тих, що відрізняються) елементів у двох семантичних класифікаційних ознаках (рис. 7).

Представимо такий варіант в більш формалізованому вигляді (7).

$$SCF_{H(F)} = SCF_{H(F)(1)} \cup SCF_{H(F)(2)}; SCF_{H(F)(1)} \cap SCF_{H(F)(2)} \neq \emptyset:$$

$$\left( \left| SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j} \right| < \left| SCFE_{H(F)(1),i} / SCFE_{H(F)(2),j} \right| \right) \quad (7)$$

$$\wedge \left( \left| SCFE_{H(F)(1),i} \cap SCFE_{H(F)(2),j} \right| < \left| SCFE_{H(F)(2),j} / SCFE_{H(F)(1),i} \right| \right)$$

6. Слабкий ступінь відповідності семантичних таксонів існує, коли при об'єднанні семантичних таксономічних структур перетин їх елементів не є порожньою множиною, кількість еквівалентних (загальних) елементів семантичних таксонів менша, ніж кількість нееквівалентних (тих, що відрізняються) елементів у двох семантичних таксонах (рис. 8).

Представимо такий варіант в більш формалізованому вигляді (8):

$$ST_{H(F)} = ST_{H(F)(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(F)(2)}; ST_{H(F)(1)} \cap ST_{H(F)(2)} \neq \emptyset:$$

$$\left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| < \left| STE_{H(F)(1),i} / STE_{H(F)(2),j} \right| \right) \quad (8)$$

$$\wedge \left( \left| STE_{H(F)(1),i} \cap STE_{H(F)(2),j} \right| < \left| STE_{H(F)(2),j} / STE_{H(F)(1),i} \right| \right)$$

Для більш компактного позначення ступеня відповідності введемо такі позначення:  $\overset{\equiv}{\leftarrow \rightarrow}$  – сильний ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак або семантичних таксонів,  $\overset{=}{\leftarrow \rightarrow}$  – достатній ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак або семантичних таксонів,  $\overset{-}{\leftarrow \rightarrow}$  – слабкий ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак або семантичних таксонів.

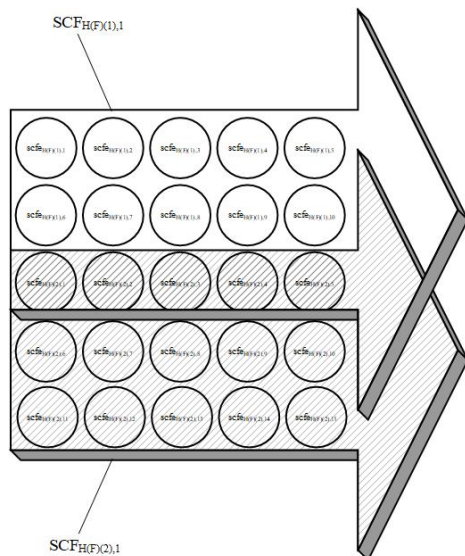


Рис. 7. Слабкий ступінь відповідності елементів семантичних класифікаційних ознак

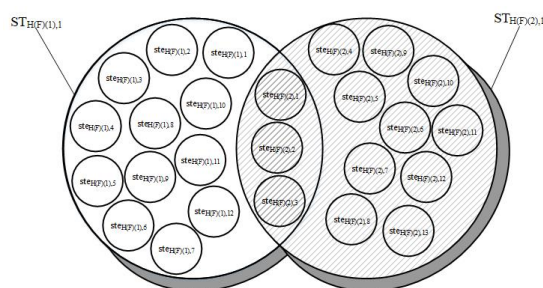


Рис. 8. Слабкий ступінь відповідності елементів семантичних таксонів

Таким чином:

–  $SCF_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{H(F)(2)}$  – сильний ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак;

–  $ST_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{=} ST_{H(F)(2)}$  – сильний ступінь відповідності семантичних таксонів;

–  $SCF_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{H(F)(2)}$  – достатній ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак;

–  $ST_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{=} ST_{H(F)(2)}$  – достатній ступінь відповідності семантичних таксонів;

–  $SCF_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{-} SCF_{H(F)(2)}$  – слабкий ступінь відповідності семантичних класифікаційних ознак;

–  $ST_{H(F)(1)} \xleftrightarrow{-} ST_{H(F)(2)}$  – слабкий ступінь відповідності семантичних таксонів.

---

Надалі, при описі варіантів об'єднання семантичних таксономічних структур, у випадку, коли перетин їх елементів не буде порожньою множиною, будемо вважати, що ступінь відповідності буде достатнім.

При викладі подальшого матеріалу будемо вважати, що відповідність між семантичними індексами й семантичним змістом таксонів і класифікаційних ознак може бути встановлено, якщо ступінь відповідності між ними сильний. У всіх інших випадках, коли ступінь відповідності слабкий або достатній, будемо вважати, що відповідності між елементами семантичних таксономічних структур відсутні.

Проаналізуємо більш детально варіанти об'єднання семантичних ієрархічних таксономічних структур і семантичних фасетних таксономічних структур. Насамперед для цього в графічному вигляді представимо варіанти об'єднання семантичних ієрархічних таксономічних структур для ієрархічних (рис. 9).

Формально опишемо варіанти об'єднання семантичних таксономічних структур (табл. 1) у вигляді ієрархій. Позначення для множин семантичних класифікаційних ознак і семантичних таксонів, їх нумерація відповідають рис. 9.

Варіант 1. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. У цьому випадку одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множину класифікаційних ознак. Відповідно між ними була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину без перетину таксонів (рис. 9, а).

Варіант 2. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Тут одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множину класифікаційних ознак. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів був встановлений достатній ступінь відповідності (рис. 9, б).

Варіант 3. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Між множинами класифікаційних ознак була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину без перетину таксонів (рис. 9, в).

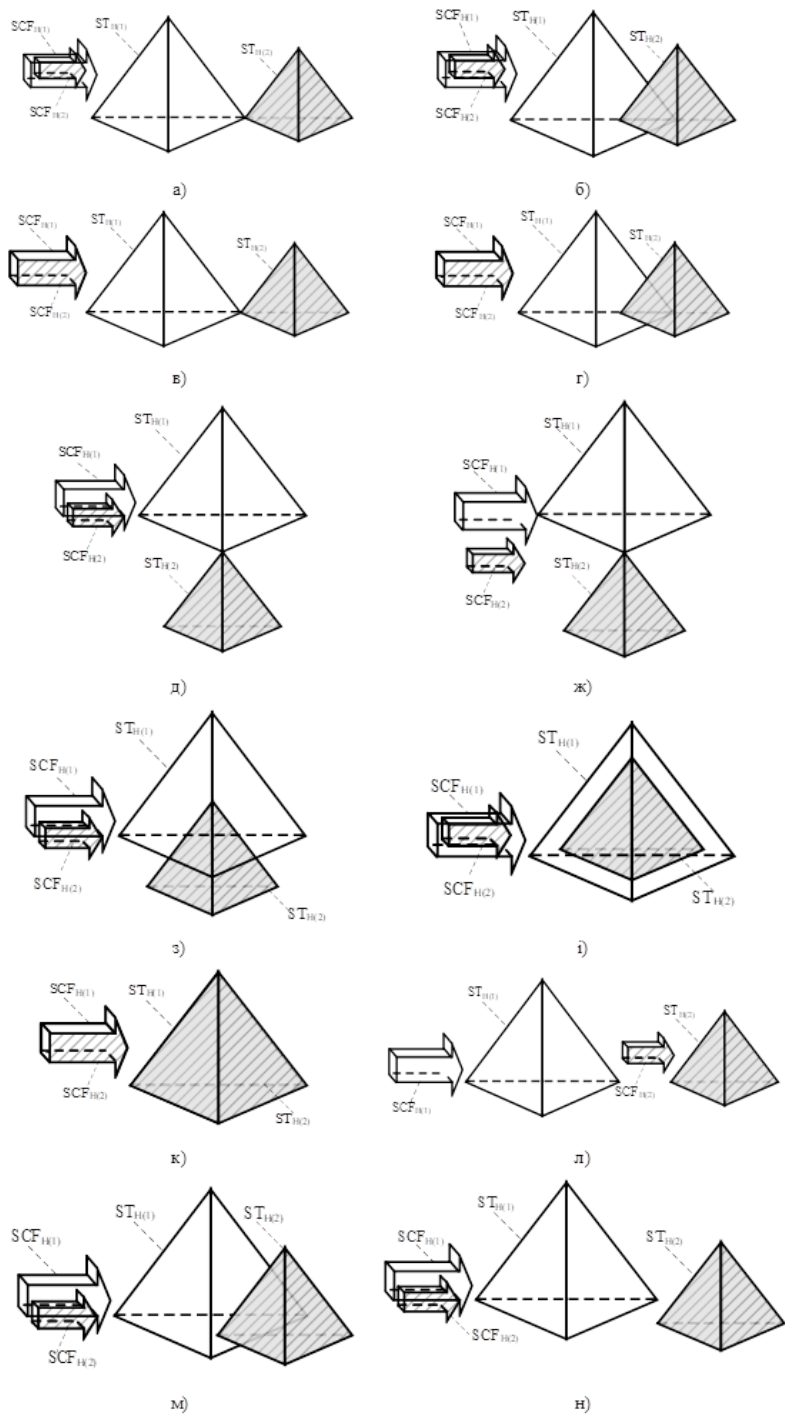


Рис. 9. Графічне представлення варіантів об'єднання ієрархічних структур

Таблиця 1.

**Формалізований опис варіантів об'єднання семантичних таксономічних структур у вигляді ієрархій**

|  |   |
|--|---|
| $\begin{cases} SCF_{H(2)} \subset SCF_{H(1)} \Rightarrow SCF_H = SCF_{H(1)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$   | $\begin{cases} SCF_{H(2)} \subset SCF_{H(1)} \Rightarrow SCF_H = SCF_{H(1)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} \neq \emptyset \\ ST_{H(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{H(2)} \end{cases}$ |
| а)   | б)  |
| $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$   | $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} \neq \emptyset \\ ST_{H(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{H(2)} \end{cases}$   |
| в)   | г)  |
| $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{H(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} SCF_{H(2)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \cup \downarrow ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$  | $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} = \emptyset \\ ST_H = ST_{H(1)} \cup \downarrow ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$  |
| д)   | ж)  |
| $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{H(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} SCF_{H(2)} \\ ST_H = ST_{H(1)} \cup \downarrow ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} \neq \emptyset \\ ST_{H(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{H(2)} \end{cases}$ | $\begin{cases} SCF_{H(2)} \subset SCF_{H(1)} \Rightarrow SCF_H = SCF_{H(1)} \\ ST_{H(2)} \subset ST_{H(1)} \Rightarrow ST_H = ST_{H(1)} \end{cases}$  |
| з)   | і)  |

|   |   |
|---|---|
| $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} = SCF_{H(2)} \\ ST_H = ST_{H(1)} = ST_{H(2)} \end{cases}$   | $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup_{FHS} SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} = \emptyset \\ ST_H = ST_{H(1)} \cup_{FHS} ST_{H(2)} \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$   |
| к)  | л)  |
| $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{H(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{H(2)} \\ ST_H = (ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)}) \cup (ST_{H(1)} \cup \downarrow ST_{H(2)}) \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} \neq \emptyset \\ ST_{H(1)} \xleftrightarrow{=} ST_{H(2)} \end{cases}$ | $\begin{cases} SCF_H = SCF_{H(1)} \cup SCF_{H(2)} \\ SCF_{H(1)} \cap SCF_{H(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{H(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{H(2)} \\ ST_H = (ST_{H(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{H(2)}) \cup (ST_{H(1)} \cup \downarrow ST_{H(2)}) \\ ST_{H(1)} \cap ST_{H(2)} = \emptyset \end{cases}$ |
| м)  | н)  |

Варіант 4. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Між множинами класифікаційних ознак була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів був встановлений достатній ступінь відповідності (рис. 9, г).

Варіант 5. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину без перетину таксонів (рис. 9, д).

Варіант 6. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції без перетину елементів класифікаційних ознак. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину без перетину таксонів (Рис. 9, ж).

Варіант 7. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами семантичних класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину з перети-



---

ном таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (рис. 9, з).

Варіант 8. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. У цьому випадку одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множину класифікаційних ознак. Відповідно між ними була встановлена рівність. У частині семантичних таксонів одна множина включає в себе іншу множину. Відповідно між ними була встановлена рівність (рис. 9, і).

Варіант 9. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Між множинами семантичних класифікаційних ознак і множинами семантичних таксонів була встановлена рівність (рис. 9, к).

Варіант 10. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини семантичних класифікаційних ознак об'єднані з використанням операції об'єднання в фасетного-ієрархічну структуру без перетину семантичних класифікаційних ознак. Множини семантичних таксонів об'єднані з використанням операції об'єднання в фасетного-ієрархічну структуру без перетину таксонів (рис. 9, л).

Варіант 11. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами семантичних класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Множини семантичних таксонів об'єднані з використанням операцій об'єднання в ширину і глибину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (рис. 9, м).

Варіант 12. Об'єднання двох семантичних ієрархічних структур. Множини семантичних класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Множини таксонів об'єднані з використанням операцій об'єднання в ширину і глибину без перетину таксонів (рис. 9, н).

Формально опишемо варіанти об'єднання семантичних таксономічних структур (табл. 2) у вигляді фасетних структур. Позначення для множин семантичних класифікаційних ознак і семантичних таксонів, їх нумерація відповідають рис. 10.

Варіант 1. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. У цьому випадку одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множи-

---

ну класифікаційних ознак. Відповідно між ними була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину без перетину таксонів (рис. 10, а).

Варіант 2. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Тут одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множину класифікаційних ознак. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (Рис. 10, б).

Варіант 3. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Між множинами класифікаційних ознак була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину без перетину таксонів (рис. 10, в).

Варіант 4. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Між множинами класифікаційних ознак була встановлена рівність. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в ширину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (рис. 10, г).

Варіант 5. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину без перетину таксонів (рис. 10, д).

Варіант 6. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції без перетину елементів класифікаційних ознак. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину без перетину таксонів (рис. 10, ж).

Варіант 7. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами семантичних класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Для множин таксонів була застосована операція об'єднання в глибину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (рис. 10, з).

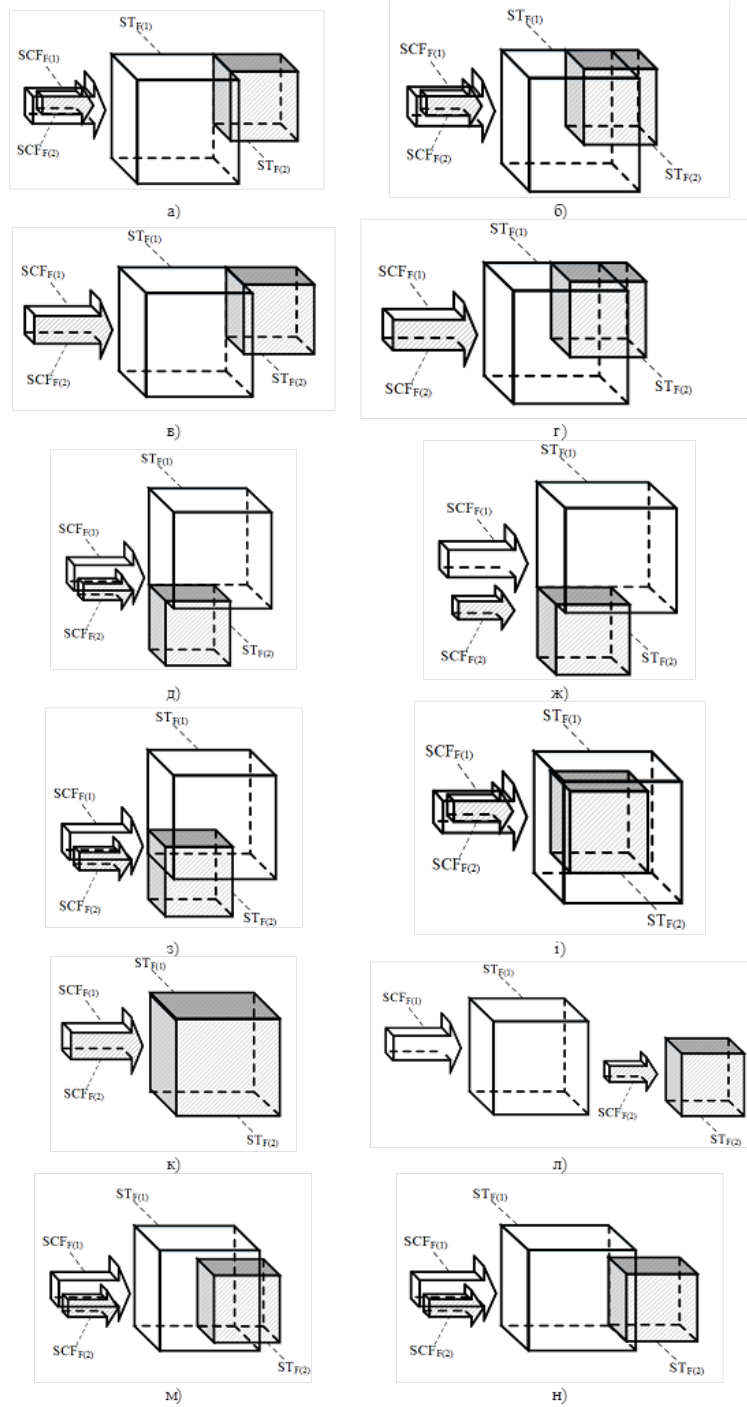


Рис. 10. Графічне представлення варіантів об'єднання фасетних структур

Таблиця 2.

**Формалізований опис варіантів об'єднання семантичних таксономічних структур у вигляді фасетних структур**

|   |  |
|---|--|
| $\left\{ \begin{array}{l} SCF_{F(2)} \subset SCF_{F(1)} \Rightarrow SCF_F = SCF_{F(1)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{array} \right.$   | $\left\{ \begin{array}{l} SCF_{F(2)} \subset SCF_{F(1)} \Rightarrow SCF_F = SCF_{F(1)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} \neq \emptyset \\ ST_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{F(2)} \end{array} \right.$       |
| а)  | б)   |
| $\left\{ \begin{array}{l} SCF_F = SCF_{F(1)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{array} \right.$   | $\left\{ \begin{array}{l} SCF_F = SCF_{F(1)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \overset{\rightarrow}{\cup} ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} \neq \emptyset \\ ST_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{F(2)} \end{array} \right.$   |
| в)  | г)   |
| $\left\{ \begin{array}{l} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} SCF_{F(2)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \cup \downarrow ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{array} \right.$  | $\left\{ \begin{array}{l} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} SCF_{F(2)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \cup \downarrow ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{array} \right.$ |
| д)  | ж)   |
| $\left\{ \begin{array}{l} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} SCF_{F(2)} \\ ST_F = ST_{F(1)} \cup \downarrow ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} \neq \emptyset \\ ST_{F(1)} \overset{=}{\longleftrightarrow} ST_{F(2)} \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} SCF_{F(2)} \subset SCF_{F(1)} \Rightarrow SCF_F = SCF_{F(1)} \\ ST_{F(2)} \subset ST_{F(1)} \Rightarrow ST_F = ST_{F(1)} \end{array} \right.$  |
| з)  | и)   |

|  |  |
|--|--|
| $\begin{cases} SCF_F = SCF_{F(1)} = SCF_{F(2)} \\ ST_F = ST_{F(1)} = ST_{F(2)} \end{cases}$  | $\begin{cases} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup_{FHS} SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} = \emptyset \\ ST_F = ST_{F(1)} \cup_{FHS} ST_{F(2)} \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{cases}$  |
| к)   | л)   |
| $\begin{cases} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{F(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{F(2)} \\ ST_F = (ST_{F(1)} \xrightarrow{\cup} ST_{F(2)}) \cup (ST_{F(1)} \cup \downarrow ST_{F(2)}) \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} \neq \emptyset \\ ST_{F(1)} \xleftrightarrow{=} ST_{F(2)} \end{cases}$ | $\begin{cases} SCF_F = SCF_{F(1)} \cup SCF_{F(2)} \\ SCF_{F(1)} \cap SCF_{F(2)} \neq \emptyset \\ SCF_{F(1)} \xleftrightarrow{=} SCF_{F(2)} \\ ST_F = (ST_{F(1)} \xrightarrow{\cup} ST_{F(2)}) \cup (ST_{F(1)} \cup \downarrow ST_{F(2)}) \\ ST_{F(1)} \cap ST_{F(2)} = \emptyset \end{cases}$ |
| м)   | н)   |

Варіант 8. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. У цьому випадку одна множина класифікаційних ознак включає в себе іншу множину класифікаційних ознак. Відповідно між ними була встановлена рівність. У частині семантичних таксонів одна множина включає в себе іншу множину. Відповідно між ними була встановлена рівність (рис. 10, і).

Варіант 9. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Між множинами семантичних класифікаційних ознак і множинами семантичних таксонів була встановлена рівність (рис. 10, к).

Варіант 10. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини семантичних класифікаційних ознак об'єднані з використанням операції об'єднання в фасетного-ієрархічну структуру без перетину семантичних класифікаційних ознак. Множини семантичних таксонів об'єднані з використанням операції об'єднання в фасетного-ієрархічну структуру без перетину таксонів (рис. 10, л).

Варіант 11. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами семантичних класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Мно-

---

жини семантичних таксонів об'єднані з використанням операцій об'єднання в ширину й глибину з перетином таксонів. Між елементами семантичних таксонів встановлено достатній ступінь відповідності (рис. 10, м).

Варіант 12. Об'єднання двох семантичних фасетних структур. Множини семантичних класифікаційних ознак об'єднані з використанням звичайної операції з перетином елементів класифікаційних ознак. Між елементами класифікаційних ознак встановлено достатній ступінь відповідності. Множини таксонів об'єднані з використанням операцій об'єднання в ширину і глибину без перетину таксонів (рис. 10, н).

У процесі об'єднання таксономічних структур між таксонами і класифікаційними ознаками (фасетами), як правило, встановлюються відповідності. Кожна така відповідність фіксується в таблиці результатів відповідності, формат якої представлений в табл. 3. Розглянемо більш детально правила формування такої таблиці. У кожному рядку таблиці міститься 2 підрядки – кожен для окремої таксономічної структури, які об'єднуються. Жирним шрифтом і сірим фоном виділені елементи таксономічних структур, які попарно відповідають один одному. У такому випадку інформація про таксони, для яких було встановлено відповідність, вноситься в таблицю в один стовпець в рамках загального рядку, одним під іншим. Таксони, для яких відповідності не були встановлені, записуються в свій підрядок в рамках загального рядку відразу після тих таксонів, для яких відповідність було встановлено. Інформація про класифікаційні ознаки (фасети) таксономічних структур в незалежності від їх збігу завжди вноситься в один відповідний стовпець в рамках загального рядка, кожна класифікаційна ознака в свій підрядок.

Представимо алгоритм виконання операції об'єднання для таксономічних структур (рис. 11, 12). Даний алгоритм має особливість, яка пов'язана з декількома варіантами пошуку відповідностей. Розглянемо такі варіанти більш детально. Існує 2 варіанти пошуку відповідностей в алгоритмі:

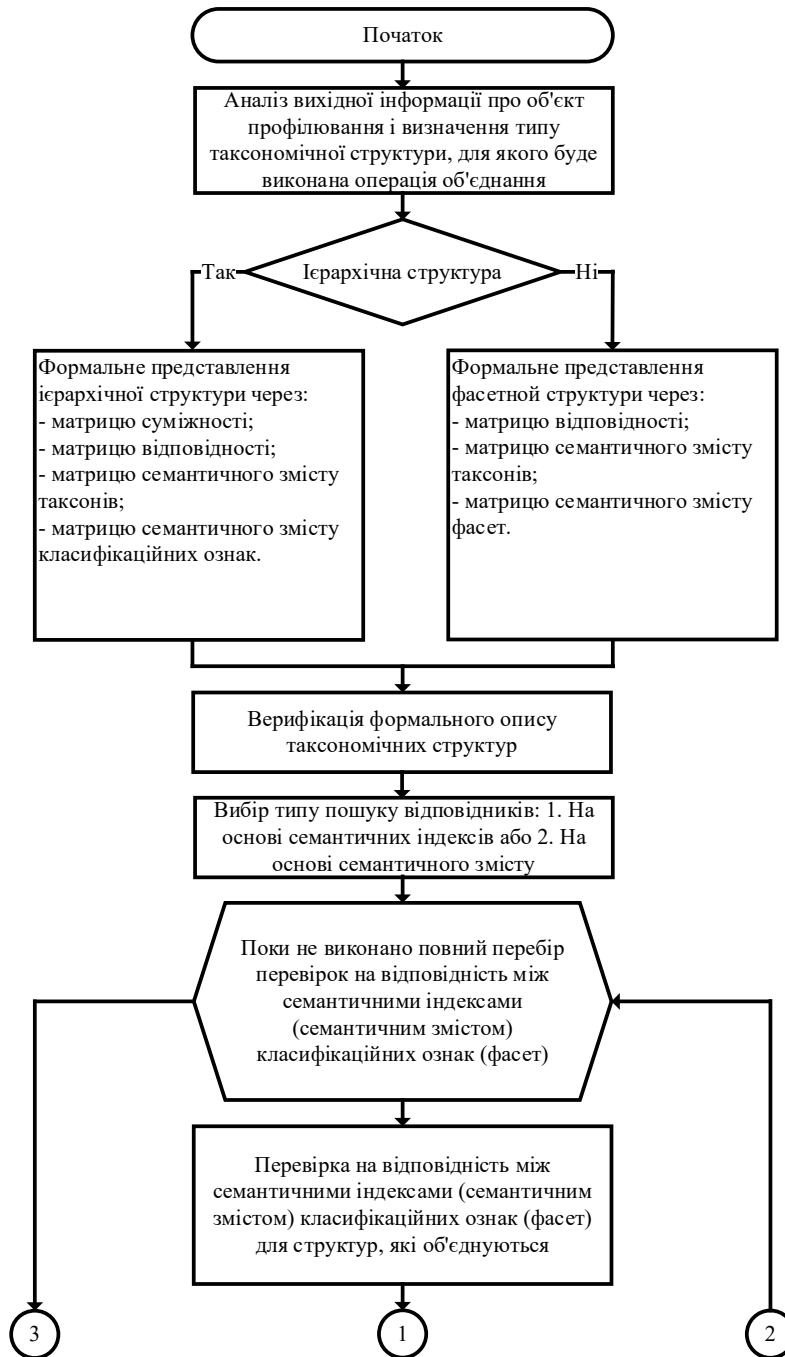


Рис. 11. Алгоритм виконання операції об'єднання таксономічних структур (перша частина)

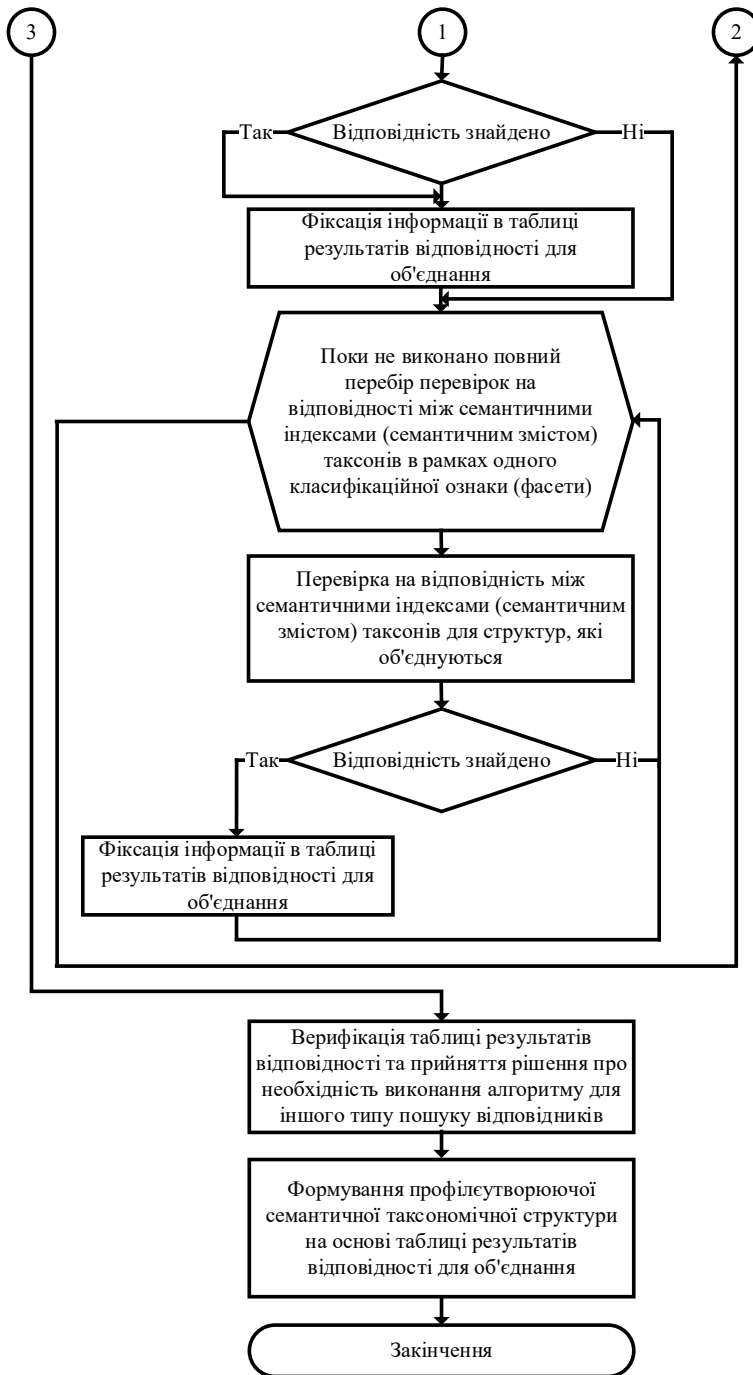


Рис. 12. Алгоритм виконання операції об'єднання таксономічних структур (друга частина)



## Приклад таблиці результатів відповідностей для об'єднання

| №                    | Класифікаційні ознаки (фасети) | Таксони        |                |                |               |                |                |
|----------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| Ієрархічна структура |                                |                |                |                |               |                |                |
| 1                    | $SCF_{H(1),1}$                 | $ST_{H(1),1}$  |                |                |               |                |                |
|                      | $SCF_{H(2),2}$                 | $ST_{H(2),1}$  |                |                |               |                |                |
| 2                    | $SCF_{H(1),2}$                 | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$  |               |                |                |
|                      | $SCF_{H(2),2}$                 |                | $ST_{H(2),2}$  | $ST_{H(2),3}$  |               |                |                |
| 3                    | $SCF_{H(1),3}$                 | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$ | $ST_{H(1),1}$  | $ST_{H(1),1}$  |
|                      | $SCF_{H(2),3}$                 | $ST_{H(2),7}$  | $ST_{H(2),8}$  | $ST_{H(2),9}$  |               |                |                |
| Фасетна структура    |                                |                |                |                |               |                |                |
| 1                    | $SCF_{F(1),1}$                 | $ST_{F(1),1}$  | $ST_{F(1),2}$  | $ST_{F(1),3}$  | $ST_{F(1),4}$ | $ST_{F(1),5}$  |                |
|                      | $SCF_{F(2),1}$                 | $ST_{F(2),1}$  | $ST_{F(2),2}$  | $ST_{F(2),3}$  |               |                | $ST_{F(2),4}$  |
| 2                    | $SCF_{F(1),2}$                 | $ST_{F(1),6}$  | $ST_{F(1),7}$  | $ST_{F(1),8}$  | $ST_{F(1),9}$ | $ST_{F(1),10}$ | $ST_{F(1),11}$ |
|                      | $SCF_{F(2),2}$                 | $ST_{F(2),5}$  |                | $ST_{F(2),6}$  | $ST_{F(2),7}$ |                |                |
| 3                    | $SCF_{F(1),3}$                 | $ST_{F(1),12}$ | $ST_{F(1),13}$ | $ST_{F(1),14}$ |               |                |                |
|                      | $SCF_{F(2),3}$                 | $ST_{F(2),8}$  | $ST_{F(2),9}$  | $ST_{F(2),10}$ |               |                |                |

1 – це пошук відповідності між семантичним індексами класифікаційних ознак (фасет) і таксонів в таксономічних структурах. Вважається, що такий пошук більш простий і швидкий для виконання;

2 – це пошук відповідності між семантичним змістом класифікаційних ознак (фасет) і таксонів в таксономічних структурах. Вважається, що такий пошук більш складний і тривалий для виконання.

Можуть бути обрані послідовно обидва варіанти пошуку відповідностей між елементами таксономічних структур. Наприклад, коли перший варіант не надав ніяких відповідностей, застосовують другий варіант.

Визначимо умови, при яких застосовується той або інший варіант пошуку відповідностей:

– умова, при якій перший варіант пошуку відповідностей (між класифікаційними індексами) може застосовуватися: якщо множини семантичних індексів структур, що об'єднуються, були сформовані в повному обсязі (тобто для кожного елемента семантичної таксономічної структури), який необхідний для встановлення відповідності між ними;

---

– умова, при якій після виконання першого варіанта пошуку відповідностей були отримані необхідні результати, при цьому другий варіант пошуку відповідностей можна не застосовувати: якщо множина відповідностей, отриманих від порівнянь між семантичними індексами, є достатньо повною для виконання операції об'єднання;

– умова, при якій перший варіант пошуку відповідностей не може застосовуватися, а другий повинен застосовуватися замість першого: множина семантичних індексів структур, що об'єднуються, з якої-небудь причини не була сформована в повному обсязі, який необхідний для встановлення відповідності між ними;

– умова, при якій після виконання першого варіанта пошуку відповідностей не були отримані необхідні результати, таким чином повинен застосовуватися другий варіант пошуку відповідностей: множина відповідностей, отриманих від порівнянь між семантичними індексами не є достатньо повною для виконання операції об'єднання.

Рішення про виконання або невиконання умов для застосування варіантів пошуку відповідностей приймаються експертом, який виконує профілювання.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі.**

У статті була розглянуто задача профілювання ПЗ на прикладі профілю вимог ПЗ. Для її вирішення, по-перше, був запропонований варіант представлення та опису профілю вимог ПЗ, по-друге, було розглянуто операцію об'єднання, яка дозволяє утворювати профіль ПЗ з декількох окремих. Варто відзначити також, що була сформована множина варіантів об'єднання семантичних таксономічних структур, які були представлені графічно та у формалізованому вигляді. У подальшому планується описати та формалізувати операцію розбиття семантичних таксономічних структур.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Watts H.* The software quality profile / H. Watts, T. Daughtrey // *Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer*, American Society for Quality (ASQ). – 2001, pp. 3-17.
2. *Андрашов А. А.* Анализ моделей представления требований к программному обеспечению при их профилировании / А. А. Андрашов, Ю. А. Кременчуцкий, В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 7(41). – С. 186-191.

---

3. *Yu Chen Zhen*. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications / Zhen Yu Chen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein // *International Journal of Manufacturing Research (IJMR)*. – 2007. – Vol. 2, No. 3. – pp. 362-387.

4. *Шостак И. В.* Подход к автоматизации процесса формирования нормативного профиля при сертификации программных продуктов / И. В. Шостак, Ю. И. Бутенко // *Системы обработки информации*. – 2010. – № 8(89). – С. 122-126.

5. *Андрашов А.А.* Таксономические модели профилирования требований информационно-управляющих систем критического применения / А.А. Андрашов // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 7(48). – С. 104-108.

6. *Андрашов А. А.* Фасетно-иерархические семантические структуры в задачах обеспечения качества программного обеспечения / А.А. Андрашов // *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні «ІКТМ-2008»: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф, м. Харків*. – 2008. – Т.2. – С. 204.

7. *Гордеев О. О.* Фасетно-ієрархічні структури у задачах оцінки якості програмного забезпечення / О. О. Гордеев, В. С. Харченко // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2005. – №3. – С. 190-196.

8. *Гордеев А. А.* Профилирование дефектов и требований ПО с использованием операций над таксономическими структурами / А.А. Гордеев // *Міжнар. наук.-техн. конф. «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (ІКТМ-2005)*. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2005. – С. 364.

9. *Бутенко Ю. И.* Онтологическая модель формирования нормативного профиля для сертификации систем критического применения / Ю. И. Бутенко // *Сучасні напрямки інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тез. доп. Першої наук.-техн. конф. Харків*. – 2010. – С. 40.

10. *Шостак И. В.* Знаниеориентированные методы формирования нормативных профилей к системам критического применения на основе онтологий / И. В. Шостак, Ю. И. Бутенко, Е. И. Шостак // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 5. – С. 104-108.

11. *Шостак И.В.* Классификационная модель текстов нормативной базы при экспертировании программного обеспечения / И. В. Шостак, Ю. И. Бутенко // *II Всеукраїнська науково-практична конференція «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика»*, 28 березня, м. Харків. – 2013. – С. 20-23.

12. *Bruel Jean-Michel*. The role of formalism in system requirements // *Jean-Michel Bruel, Sophie Ebersold, Florian Galinier, Manuel Mazzara, Alexandr*

### References:

1. Watts H. The software quality profile / H. Watts, T. Daughtrey // *Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer*, American Society for Quality (ASQ). – 2001, pp. 3-17.
2. Andrashov A.A. Analiz modeley predstavleniya trebovaniy k programmnomu obespecheniyu pri ikh profilirovaniy / A.A. Andrashov, YU.A. Kremenchutskiy, V.S. Kharchenko // *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*. - 2009. - № 7 (41). - pp. 186-191.
3. Chen Zhen Yu. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications / Zhen Yu Chen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein // *International Journal of Manufacturing Research (IJMR)*. - 2007. - Vol. 2, No. 3. - pp. 362-387.
4. Shostak I. V. Podkhod k avtomatizatsii protsessa formirovaniya normativnogo profilya pri sertifikatsii programmnykh produktov. V. Shostak, YU. I. Butenko // *Sistemy obrobki informatsii*. - 2010. - № 8 (89). - pp. 122-126.
5. Andrashov A.A. Taksonomicheskiye modeli profilirovaniya trebovaniy informatsionno-upravlyayushchikh sistem kriticheskogo primeneniya / A.A. Andrashov // *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*. - 2010. - № 7 (48). - pp. 104-108.
6. Andrashov A.A. Fasetno-iyerarkhicheskiye semanticheskkiye struktury v zadachakh obespecheniya kachestva programmnoho obespecheniya / A.A. Andrashov // *Integrirovannyye tekhnologii v mashinostroyenii «IKTM-2008»: mater. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf, m. Kharkiv*. - 2008. - T.2. - p. 204.
7. Gordieiev O.O. Fasetno - iyerarkhicheskiye struktury v zadachakh otsenki kachestva programmnoho obespecheniya / O.O. Gordieiev, V. S. Kharchenko // *Informatsionnyye tekhnologii i komp'yuternaya inzheneriya*. - 2005. - №3. - pp. 190-196.
8. Gordeyev A.A. Profilirovaniye defektov i trebovaniy PO s vnedreniyem operatsiy nad taksonomicheskimi strukturami / A.A. Gordeyev // *Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. «Integrirovannyye komp'yuternyye tekhnologii v mashinostroyenii» (IKTM-2005)*. - Khar'kov: NAKU «KHAI». - 2005. - pp. 364.
9. Butenko Yu. I. Ontologicheskaya model formirovaniya normativnogo profilya dlya sertifikatsii sistem kriticheskogo primeneniya / Yu. I. Butenko // *Sovremennyye napravleniya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy i sredstv upravleniya: tez. dop. Pervoy nauchno-tekhn. konf. Khar'kov.*- 2010. - p. 40.

---

10. Shostak I.V. Znaniyeoriyentirovannyye metody formirovaniya normativnykh profiley k sistemam kriticheskogo primeneniya na osnove ontologiy / I.V. Shostak, YU.I. Butenko, Ye.I. Shostak // Radioelektronnyye i komp'yuternyye sistemy. - 2010. - №5. - pp. 104-108.

11. Shostak I. V. Klassifikatsionnaya model' tekstov normativnoy bazy pri ekspertirovaniya programmogo obespecheniya / I.V. Shostak, YU.I. Butenko // I i Vseukrainskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Intellektual'nyye sistemy i prikladnaya lingvistika», 28 marta, m. Kharkiv. - 2013. - pp. 20-23.

12. Bruel Jean-Michel. The role of formalism in system requirements // Jean-Michel Bruel, Sophie Ebersold, Florian Galinier, Manuel Mazzara, Alexandr Naumchev. – 2020. – 46 p. [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <https://arxiv.org/pdf/1911.02564.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.1-59.6>

УДК 314.8

**А. М. Пасічник** доктор фізико-математичних наук, професор Аналітично-наукового центру Міжнародної академії комп'ютерних наук та систем

**Є. П. Медведєв** кандидат технічних наук, доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля

**А. В. Пасічник** магістр ННІ права та міжнародно-правових відносин Університету митної справи та фінансів

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИК ОЦІНОЧНОГО РОЗРАХУНКУ ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

*Запропоновано методичний підхід побудови оцінки чисельності населення України на основі системного аналізу статистичних даних природного та міграційного руху населення, трудового потенціалу країни. Побудовано оцінки чисельності наявного населення України на основі запропонованих підходів та проведено порівняльний аналіз отриманих результатів і визначена їх розбіжність. Показано, що Україна може стати успішною країною тільки при забезпеченні сприятливих соціально-економічних умов для сталого зростання трудового капіталу на основі нарощування чисельності населення, омолодження його вікової структури, створення нових робочих місць за рахунок розвитку та впровадження інноваційних технологій.*

*Встановлено, що одним із головних завдань державного управління є проведення ефективної національної демографічної політики, спрямованої на відтворення кількісного та якісного складу населення України. Протягом останніх десятиліть спостерігається чітка тенденція до зменшення кількості населення в Україні через зниження рівня народжуваності та збільшення смертності, а також через масові виїзди громадян України за кордон у пошуках роботи. Демографічна ситуація в країні ускладнюється як економічною кризою, так і світовою конкуренцією розвинених країн за трудові ресурси.*

*Враховуючи важливість вирішення демографічних проблем для національної безпеки, за результати дослідження Україні необхідно використо-*

© А. М. Пасічник, Є. П. Медведєв, А. В. Пасічник, 2020

---

увати досвід високорозвинених країн світу та наполегливо проводити державну політику, спрямовану на створення сприятливих умов для залучення молоді як для навчання, так і для подальшої зайнятості. Тому, розробка та реалізація ефективних управлінських рішень для вирішення демографічних проблем України та вирішення проблем у різних сферах влади та бізнесу повинні базуватися на актуальних даних про чисельність населення країни.

Ключові слова: Оцінка чисельності населення, демографічна ситуація, приріст населення.

*Предложен методический подход построения оценки численности населения Украины на основе системного анализа статистических данных естественного и миграционного движения населения, трудового потенциала страны. Построено оценки численности наличного населения Украины на основе предложенных подходов и проведен сравнительный анализ полученных результатов и определено их расхождение. Показано, что Украина может стать успешной страной только при обеспечении благоприятных социально-экономических условий для устойчивого роста трудового капитала на основе наращивания численности населения, омоложения его возрастной структуры, создания новых рабочих мест за счет развития и внедрения инновационных технологий..*

Ключевые слова: Оценка численности населения, демографическая ситуация, прирост населения.

*The methodical approach of construction of an estimation of population of Ukraine on the basis of the systematic analysis of statistical data of natural and migratory movement of the population, labor potential of the country is offered. Estimates of the current population of Ukraine were constructed on the basis of the proposed approaches and a comparative analysis of the obtained results was conducted and their discrepancy was determined. The relationship of the obtained results with the calculated data of a comprehensive population assessment carried out by the Cabinet of Ministers of Ukraine in 2019 is also considered. It is shown that Ukraine can become a successful country only if it provides favorable socio-economic conditions for sustainable growth of labor capital based on population growth, rejuvenation of its age structure, job creation through development and introduction of innovative technologies.*

*It is established that one of the main tasks of public administration is to conduct an effective national demographic policy aimed at reproducing the quantitative and qualitative composition of the population of Ukraine. In recent decades, there has been a clear trend of population decline in Ukraine due to lower*

---

*birth rates and increased mortality, as well as due to mass trips of Ukrainian citizens abroad in search of work. The demographic situation in the country is complicated by both the economic crisis and global competition from developed countries for labor resources.*

*Given the importance of solving demographic problems for national security, the results of the study show that Ukraine needs to use the experience of highly developed countries and persistently pursue public policies aimed at creating favorable conditions for attracting young people for both education and employment. Therefore, the development and implementation of effective management decisions to solve the demographic problems of Ukraine and solve problems in various spheres of government and business should be based on current data on the population of the country. This involves further development and improvement of the proposed approaches aimed at increasing their accuracy and reliability.*

*Keywords: Population estimation, demographic situation, population growth.*

**Вступ.** В сучасних умовах інноваційної економіки однією із основних продуктивних сил успішного розвитку країни є трудовий капітал, який є базисом інших капіталів: технологічного, соціального, інтелектуального, культурного тощо [1]. Однією із головних задач державного управління є проведення ефективної національної демографічної політики направленої на відтворення кількісного і якісного складу населення України. Протягом останніх десятиріч спостерігається чітка тенденція зменшення чисельності українців за рахунок спаду народжуваності та зростання смертності, а також через погіршення соціально-економічних умов українці вимушені шукати роботу за кордоном. Демографічна ситуація в країні ускладнюється як економічною кризою, так і світовою конкуренцією розвинутих країн світу за трудові ресурси. Враховуючи значимість вирішення демографічних проблем, більшість високо розвинутих країн світу наполегливо проводять державну політику направлену на створення сприятливих умов для залучення молоді як на навчання так і для подальшого працевлаштування. У зв'язку з цим, розробка та реалізація ефективних управлінських рішень із розв'язання демографічних проблем України та вирішення задач в різних сферах діяльності держави і бізнесу має базуватись на актуальних даних про чисельність населення.



---

**Постановка задачі.** Розробці методології оцінки та статистичного аналізу чисельності наявного населення України присвячено цілий ряд наукових досліджень відомих вчених.

Так, у публікації [2] запропоновано макроекономічний підхід щодо оцінки потенційних демографічних втрат населення сучасної України, за яким визначено, що у 2014 р. потенціал втрат всього населення збільшився до понад 20 млн. осіб. Результати аналізу стану трудових ресурсів по різних регіонах країни, наведені в роботі [3], вказують на загрозливі особливості демографічної ситуації, яка характеризується катастрофічним зменшенням чисельності населення. В роботах [4, 5] показано, що стабільність демографічної ситуації та реалізація потенціалу подальшого зростання чисельності населення є важливим фактором забезпечення економічної безпеки країни. Питання методологічного забезпечення розв'язання задач демографічної статистики наведені в роботах [6, 7]. Можливості та результати застосування різних методик дослідження демографічних задач наведено в публікації [8].

Проблема трудової міграції та забезпеченості ринку праці України висококваліфікованими працівниками, що здатні розвивати бізнес і сприяти соціально-економічному зростанню країни розглядаються в статті [9]. Показано, що міграційна політика високо розвинених країн Євросоюзу спрямована на залучення іммігрантів, в т.ч. і українців, що також призводить до зменшення чисельності населення України. Результати дослідження впливу регіональної демографічної політики на чисельність наявного населення України приведені в роботах [10, 11].

У результаті проведеного аналізу сучасної демографічної ситуації в країнах Балтії та довгострокового прогнозу (80 років) встановлено необхідність запровадження надзвичайних заходів для її покращення до 2035 р. [12]. У випадку не виконання таких заходів зменшення чисельності населення країн Балтії може набути катастрофічного характеру.

Проведений аналіз наукових досліджень підтверджує актуальність подальшого удосконалення методології розв'язання демографічних задач.

**Мета.** Метою публікації є удосконалення та розробка методів побудови актуальних оцінок чисельності наявного населення України на основі аналізу показників природного й механічного руху населення та трудового потенціалу, а також проведення порівняльного аналізу різних варіантів з метою покращення збіжності отриманих результатів.

**Результати дослідження.** Одним з інструментів визначення чисельності населення країни є переписи, які за рекомендаціями ООН мають проводитися один раз на 10 років. Основні результати перепису населення, який

проводився в Україні у 2001 році, наведено в табл. 1, 2 [13]. При цьому чисельність міського населення становила 32 574 тис. осіб, або 67,2%, а сільського – 15 883 тис. осіб, або 32,8% [13].

Таблиця 1.

**Загальна чисельність та трудовий потенціал населення України**

| Вікова структура  | Чоловіки       |             | Жінки          |             | Всього         |            |
|---|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|------------|
|   | тис.           | %           | тис.           | %           | тис.           | %          |
| Чисельність наявного населення                                  | 22441,3        | 46,3        | 26016,6        | 53,7        | <b>48457,9</b> | 100        |
| Загальна чисельність станом на 5.12.2001 р.                     | 22316,3        | 46,3        | 25924,6        | 53,7        | <b>48240,9</b> | 100        |
| У тому числі:   |                |             |                |             |                |            |
| Молодь менше працездатного віку                                 | 4480,2         | 9,3         | 4263,5         | 8,8         | 8743,7         | 18,13      |
| Працездатний вік:<br>(чоловіки – 16-59 р.,<br>жінки – 16-54 р.) | 14102,0        | 29,2        | 13882,7        | 28,8        | 27984,7        | 58,03      |
| Більше працездатного віку                                       | 3724,4         | 7,7         | 7768,4         | 16,1        | 11492,8        | 23,83      |
| <b>Всього</b>   | <b>22306,6</b> | <b>46,3</b> | <b>25914,6</b> | <b>53,7</b> | <b>48221,2</b> | <b>100</b> |

Таблиця 2.

**Структура і чисельність наявного населення в Україні**

| Структура за статтю | Чисельність населення за віковими категоріями |             |                  |             |                  |             |                |             |                          |             |                |            |
|---------------------|---|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------|------------|
|                     | Діти (0-14)                                   |             | Працездатний вік |             |                  |             |                |             | Літні люди (65 і старші) |             | Всього         |            |
|                     |   |             | Ранній (15-24)   |             | Основний (25-54) |             | Зрілий (55-64) |             |                          |             |                |            |
|                     | тис.  | %           | тис.             | %           | тис.             | %           | тис.           | %           | тис.                     | %           | тис.           | %          |
| Чоловіки            | 4074,7  | 8,8         | 3756,5           | 8,1         | 9858,1           | 21,3        | 2291,2         | 6,1         | 2326,0                   | 4,9         | 22306,6        | 48,2       |
| Жінки               | 3875,2  | 8,4         | 1724,5           | 3,7         | 10646,4          | 23,0        | 3135,6         | 8,0         | 4632,9                   | 6,8         | 24014,5        | 51,8       |
| <b>Всього</b>       | <b>7949,9</b>                                 | <b>17,2</b> | <b>5481,0</b>    | <b>11,8</b> | <b>20504,5</b>   | <b>44,3</b> | <b>5426,8</b>  | <b>14,1</b> | <b>6958,9</b>            | <b>11,7</b> | <b>46321,0</b> | <b>100</b> |

Аналіз наведених даних показує, що результати перепису 2001 року дозволили сформулювати декілька різних оцінок чисельності населення України з відносною розбіжністю близько 4,4%. Зазначимо, що найбільш достові-

рними можна вважати дані, наведені в табл. 2, оскільки відображають аналітично-вікову структуру формування оцінки чисельності наявного населення в Україні. Тому для подальших розрахунків будемо використовувати оцінку чисельності наявного населення України станом на грудень 2001 року в кількості 46321 тис. осіб, наведену в табл. 2.

У зв'язку з ускладненням соціально-економічної ситуації в країні з 2001 по 2019 роки наступний перепис населення не проводився. При вирішенні задач формування державної демографічної політики використовувались апроксимаційні оцінки чисельності населення, побудовані Державним комітетом статистики України на основі аналізу статистичної інформації. Тому Кабінетом Міністрів України в 2019 році було проведено оцінку чисельності населення з використанням трьох методів [14]:

- комбінованого методу оцінки чисельності наявного населення з використанням даних мобільних операторів, даних статистичного дослідження домогосподарств і реєстрів;

- комбінованого методу оцінки чисельності наявного населення з використанням гендерно-вікової структури населення сумісно з даними реєстрів;

- реєстровий метод оцінки чисельності населення.

Інтегральні результати проведеної Кабінетом Міністрів України оцінки чисельності наявного населення в Україні станом на грудень 2019 року у відповідності з методикою [14] наведені в табл. 3. При цьому зазначається, що проведені оцінки отриманих результатів показали їх задовільну точність з оцінкою розбіжності близько 2,86%, що вважається достатнім для прийняття ефективних управлінських рішень в різних сферах діяльності.

Таблиця 3.

### Оцінка чисельності наявного населення в Україні

| Структура за статтю | Чисельність населення за віковими категоріями |      |                  |     |                  |      |                |      |                          |      |                |      |
|---------------------|---|------|------------------|-----|------------------|------|----------------|------|--------------------------|------|----------------|------|
|                     | Діти (0-14)                                   |      | Працездатний вік |     |                  |      |                |      | Літні люди (65 і старші) |      | Всього         |      |
|                     |   |      | Ранній (15-24)   |     | Основний (25-54) |      | Зрілий (55-64) |      |                          |      |                |      |
|                     | тис.  | %    | тис.             | %   | тис.             | %    | тис.           | %    | тис.                     | %    | тис.           | %    |
| Чоловіки            | 2964,0  | 7,9  | 1844,0           | 4,9 | 8112,0           | 21,8 | 2261,0         | 6,1  | 2099,0                   | 5,6  | 17280,0        | 46,3 |
| Жінки               | 2792,0  | 7,5  | 1740,0           | 4,7 | 8346,0           | 22,4 | 2982,0         | 8,0  | 4149,4                   | 11,1 | 20009,4        | 53,7 |
| <b>Всього</b>       | 5756,0  | 15,4 | 3584,0           | 9,6 | 16458,0          | 44,1 | 5243,0         | 14,1 | 6248,4                   | 16,8 | <b>37289,4</b> | 100  |

Для підвищення достовірності наведених результатів та проведення їх різностороннього аналізу розглянемо побудову оцінок чисельності наявного населення України на основі інших моделей із використанням статистичних даних природного та міграційного приросту (скорочення) чисельності населення, чисельності виборців та на основі даних зайнятості.

На першому етапі розглянемо результати зміни приросту (скорочення) чисельності населення України за період з 2001 року по 2019 рік у відповідності зі статистичними даними [15, 16, 17, 18], наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

**Динаміка приросту (скорочення) чисельності населення України у 2001 – 2019 роках**

| Роки                          | Приріст, скорочення (-), тис. осіб |                           |           | Роки            | Приріст, скорочення (-), тис. осіб |            |                 |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------------|
|                               | природн.                           | міграційн.                | загальний |                 | природн.                           | міграційн. | загальний       |
| 1                             | 2                                  | 3                         | 4         | 1               | 2                                  | 3          | 4               |
|                               |                                    |                           |           | 2010            | -200,55                            | 16,13      | -184,41         |
| 2001                          | -369,50                            | -152,20                   | -521,70   | 2011            | -161,99                            | 17,10      | -144,90         |
| 2002                          | -364,22                            | -33,79                    | -398,01   | 2012            | -142,43                            | 61,84      | -80,59          |
| 2003                          | -356,82                            | -24,21                    | -381,03   | 2013            | -158,71                            | 31,91      | -126,80         |
| 2004                          | -334,00                            | -7,62                     | -341,62   | 2014            | -166,41                            | 22,59      | -143,82         |
| 2005                          | -355,88                            | 4,58                      | -351,29   | 2015            | -183,02                            | 14,23      | -168,78         |
| 2006                          | -297,72                            | 14,25                     | -283,48   | 2016            | -186,59                            | 10,62      | -175,97         |
| 2007                          | -290,22                            | 16,84                     | -273,38   | 2017            | -210,14                            | 12,00      | -198,14         |
| 2008                          | -243,87                            | 14,92                     | -228,95   | 2018            | -251,79                            | 18,59      | -233,20         |
| 2009                          | -194,21                            | 13,45                     | -180,77   | 2019            | -272,30                            | 21,51      | -250,79         |
| <b>Разом</b>                  |                                    |                           |           |                 | -4740,38                           | 72,75      | <b>-4667,63</b> |
| Приріст, скорочення (-), тис. |                                    | Непідконтрольні території |           | Донецької обл.  |                                    | -50,42     |                 |
|                               |                                    |                           |           | Луганської обл. |                                    | -67,38     |                 |
| <b>Всього</b>                 |                                    |                           |           |                 | <b>-4785,43</b>                    |            |                 |

Аналіз наведених даних вказує на переважно природне, а відповідно і загальне скорочення чисельності населення України за розглянутий період на 4785,43 тис. осіб. При цьому відмічається певне збільшення чисельності населення за рахунок міграційного приросту з найбільшим його значенням у 2012 і 2013 роках. Динаміка показників природного й механічного руху населення вказує на наявність у країні стійкої тенденції депопуляції населення, яка негативно позначається на стані трудових ресурсів. Зменшується чисельність та економічна активність населення, зростає соціальна напруга в суспільстві.

Розглянемо оцінку чисельності населення за даними президентських виборів 2019 року. За результатами виборів переможець набрав 13 541528 голосів виборців, що складало 73,22% від загальної чисельності. Таким чином, у виборах прийняли участь 18 494302 осіб, що складало 61,37%, а відповідно загальна чисельність виборців становить 30 137714 осіб. З урахуванням частки неповнолітнього населення 18,1% [19], отримуємо оцінку чисельності наявного населення України в 35 590300 осіб.

Використовуючи чисельність наявного населення України, визначену в табл. 2, а також чисельність населення АР Крим [20], непідконтрольних територій Донецької та Луганської обл. [18] та величину загального скорочення чисельності населення України за період з 2001 р. по 2019 р., отримуємо оцінку чисельності населення України станом на 1 січня 2020 р., наведену в табл. 5.

Таблиця 5.

**Оцінка чисельності населення України станом на 1 січня 2020 р.**

| № п/п | Населення                                    |                 | Чисельність населення, (осіб) |                           |
|-------|--|-----------------|-------------------------------|---------------------------|
|       |  |                 | за даними статистики          | за даними виборів 2019 р. |
| 1     | <b>України за переписом 2001 р.</b>          |                 | <b>46 321000</b>              |                           |
| 2     | Загальне скорочення за період 2001-2019 роки |                 | -4 785430                     |                           |
| 3     | <b>Всього</b>                                |                 | <b>41 535570</b>              | <b>41 642950</b>          |
| 4     | Непідконтрольні території                    | Донецької обл.  | 2 272116                      | 2 272116                  |
| 5     |  | Луганської обл. | 1 442642                      | 1 442642                  |
| 6     | АР Крим                                      |                 | 2 337892                      | 2 337892                  |
| 7     | <b>На підконтрольній території</b>           |                 | <b>35 482920</b>              | <b>35 590300</b>          |
| 8     | Із них працює за кордоном                    |                 | 3 200000                      | 3 200000                  |
| 9     | <b>Постійно проживає в Україні</b>           |                 | <b>32 282920</b>              | <b>32 390300</b>          |
| 10    | Розбіжність оцінки, (%)                      |                 | 1,1                           | 1,1                       |

Зазначимо, що чисельність економічно активного населення є фундаментальним показником який характеризує якість і потенціал трудових ресурсів держави.

Окремо розглянемо модель оцінки чисельності населення на основі характеристик трудового потенціалу країни. Так за даними пенсійного фонду в Україні налічується 11 300 тис. пенсіонерів [21], а чисельність економічно активного населення за даними Міністерства фінансів становить 17 385,1 тис. осіб, із яких 15 924 тис. – зайнятих і 1 461,1 тис. – безробітних [22]. На основі результатів аналізу динаміки демографічної ситуації в Україні [19], показників системи вищої освіти в Україні [23] та статистичних даних [20] визначаємо, що частка населення віку молодшого за працездатний і студентів становить ~21 %. З урахуванням наведених даних отримуємо оцінку чисельності наявного населення України станом на 1 січня 2020 р. наведену в табл. 6.

Таблиця 6.

**Оцінка чисельності наявного населення України  
на основі даних трудового потенціалу**

| Категорія                 | Населення України, тис. осіб |                    |                        |                       |                             |                             |
|---------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                           | Пенсіонери                   | Економічно активне | Доросле (2+3)          | Разом діти і студенти | На підконтрольній території | Постійно проживає в Україні |
| 1                         | 2                            | 3                  | 4                      | 5                     | 6                           | 7                           |
| Чисельність               | 11 300                       | 17 385,1           | 28 685,1               | 6023,87               | <b>34 708,97</b>            | <b>31 508,97</b>            |
| Непідконтрольні території | Донецької обл.               |                    | Чисельність, тис. осіб |                       | 2 272,1                     |                             |
|                           | Луганської обл.              |                    |                        |                       | 1 442,6                     |                             |
| Автономна республіка Крим |                              | 2 337,9            |                        |                       |                             |                             |
| <b>Всього</b>             |                              | <b>40 767,87</b>   |                        |                       |                             |                             |

Узагальнені результати побудови оцінок чисельності наявного населення України наведені в табл. 7. Порівняльний аналіз наведених даних оцінки чисельності наявного населення дозволяє визначити, що за період з 2001 по 2019 роки чисельність населення України зменшилася майже на 5 млн. осіб, а з урахуванням непідконтрольних територій Донецької і Луганської обл. та Автономної Республіки Крим майже на 11 млн. осіб, що узгоджується з результатами прогнозу потенціального зменшення чисельності населення, наведеними в роботі [2]. При цьому побудовані оцінки чисельності наявного населення мають розбіжність ~1,88 %. Визначене скорочення чисельності населення підтверджується також і триразовим скороченням виробництва хліба і хлібобулочних виробів в Україні з 2,5 млн. тонн у 2001 р. до 850–860 тис. тонн у 2019 р., а середньорічне споживання хліба скоро-

тилося з 50 до 26 кг на людину [24], що також потребує додаткового дослідження. Це становить близько 72 грами на день, що в 2–4 рази менше загальноприйнятих норм споживання [25]. Зазначимо, що встановлене стрімке падіння чисельності населення становить реальну загрозу національній безпеці країни і вимагає невідкладного реагування з боку державних інституцій [4, 5].

Таблиця 7.

**Порівняльний аналіз оцінок чисельності населення України станом на 1 січня 2020 р.**

| № п/п | Населення                                    |                 | Чисельність населення, осіб |                           |                                |                  |
|-------|--|-----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------|
|       |  |                 | за даними статистики        | за даними виборів 2019 р. | за даними трудового потенціалу | за даними КМУ    |
| 1     | <b>України за переписом 2001 р.</b>          |                 | <b>46 321000</b>            |                           |                                |                  |
| 2     | Природне скорочення за період 2001-2019 роки |                 | -4 785430                   |                           |                                |                  |
| 3     | <b>Всього</b>                                |                 | <b>41 535570</b>            | <b>41 642950</b>          | <b>40 767870</b>               |                  |
| 4     | Непідконтрольні території                    | Донецької обл.  | 2 272116                    | 2 272116                  | 2 272116                       |                  |
| 5     |  | Луганської обл. | 1 442642                    | 1 442642                  | 1 442642                       |                  |
| 6     | АР Крим                                      |                 | 2 337892                    | 2 337892                  | 2 337892                       |                  |
| 7     | <b>На підконтрольній території</b>           |                 | <b>35 482920</b>            | <b>35 590300</b>          | <b>34 708970</b>               | <b>37 289000</b> |
| 8     | Із них працює за кордоном                    |                 | 3 200000                    | 3 200000                  | 3 200000                       | 3 200000         |
| 9     | Постійно проживає в Україні                  |                 | <b>32 282920</b>            | <b>32 390300</b>          | <b>31 508970</b>               | <b>34 089000</b> |
| 10    | Розбіжність оцінки, (%)                      |                 | 1,88                        | 1,88                      | 1,88                           | 2,86             |

Порівняльний аналіз наведених результатів розрахунку дозволяє отримати усереднену оцінку чисельності наявного населення України. Наявність розбіжності оцінок на основі різних підходів (табл. 7) вказує на необхідність подальшого розвитку та удосконалення відповідних методик.

**Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Результати проведеного дослідження вказують на наявність тенденцій втрати вітчизняного трудового капіталу через скорочення чисельності населення, зміни його вікової структури із збільшенням частки працівників старшого віку та непрацездатного населення. Тому для забезпечення успішного розвитку Україна має створити сприятливі соціально-економічні умови для

---

сталого зростання трудового капіталу на основі нарощування чисельності населення, омолодження його вікової структури, розвитку та впровадження інноваційних технологій.

На сучасному етапі для подолання негативних тенденцій розвитку демографічної ситуації в країні Кабінету Міністрів України необхідно реалізувати ряд невідкладних заходів, направлених на: покращення соціально-економічної ситуації в державі, підвищення рівня та поліпшення якості життя населення; формування привабливого національного ринку праці, активізацію ефективної зайнятості, реальне працевлаштування молодих спеціалістів із забезпеченням відповідних соціальних гарантій; реінтеграцію трудових мігрантів у вітчизняну економіку; забезпечення соціального захисту сімей з дітьми та осіб похилого віку; покращення екологічної ситуації.

Необхідно також зазначити, що одним із найбільш достовірних методів визначення чисельності населення країни є його перепис. Але, для проведення такого перепису в Україні належить створити необхідні умови стабільності політичної та соціально-економічної ситуації в країні.

Перспективи подальшої наукової розвідки вбачаються в удосконаленні методологічних підходів розвитку демографічного потенціалу країни як чинника розвитку трудового капіталу та підвищення економічної безпеки держави. Також в подальших дослідженнях особливу увагу необхідно приділити розробці конкретних пропозицій щодо покращення життя громадян країни, які призведуть до збільшення природного приросту населення та підвищення ефективності використання трудових ресурсів.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Гальків, Л.І.* Демографічні детермінанти розвитку людського капіталу / Л.І. Гальків // Научный вестник ДГМА. – 2013. – №1 (11Е) – С. 200–204.
2. *Рогожин, О.Г.* Оцінка потенційних втрат населення України: макро-економічний підхід / О.Г. Рогожин // Демографія та соціальна економіка. – 2016. – № 3 (28). – С.34–46. DOI: 10.15407/dse2016.03.034.
3. *Плинокос, Д.Д.* Аналіз впливу природного та механічного руху населення на стан трудових ресурсів / Д.Д. Плинокос. // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – Запорізький нац. техн. ун-т, 2015. – № 4 (85). – С.18-22.
4. *Кулинич, Р.О.* Демографічна ситуація України як фактор економічної безпеки / Р.О. Кулинич // Молодіжний науковий вісник УАБС НБУ. Серія: Економічні науки. – 2014. – № 6. – С. 228–236.



- 
5. *Статівка, Н.В.* Демографічна складова економічної безпеки України / Н.В. Статівка, А.А. Смаглюк // Теорія та практика державного управління. – 2011. – В. 1 (32). – С. 239–249.
6. *Підгорний, А.З.* Демографічна статистика : навчальний посібник. / А.З. Підгорний. – Одеса: ОДЕУ, 2010. – 166 с.
7. *Підгорний, А.З.* Збірник задач з курсу демографічної статистики: навчальний посібник / А.З. Підгорний, К.В. Вітковська. – Одеса, ОНЕУ, 2012. – 68 с.
8. *Silverman, E.* When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches [Електронний ресурс] / E. Silverman, J. Bijak, J. Hilton, V. D. Cao, J. Noble // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2013. – V. 16 (4) 9. – Режим доступу: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>. DOI: 10.18564/jasss.2327.
9. *Чорна, В.О.* Динаміка міграційних процесів в Україні: соціологічний аналіз / В.О. Чорна // Наукові праці. Соціологія. Чорноморський держ. університет, – 2015. – В. 246. Том 258. – С.175–180.
10. *Ковтуненко, Ю.В.* Аналіз природного та механічного руху населення Одеської області / Ю.В.Ковтуненко, В.В.Шацков, В.О. Бадігон // Економіка. Фінанси. Право. – Одеський нац. політех. ун-т, 2018. – В.2. – С.23 – 25.
11. *Кадоমেць, А.* Характеристика кількості постійного та наявного населення України: регіональний аспект / А. Кадомець, Т.Ф. Рябоволик. Зб. тез II наук.-практ. конф. «Сучасний стан економіки України: проблеми та перспективи розвитку». Кіровоградський нац. Техн. ун-т, 2015. – С.109–112.
12. *Манаков, А.Г.* Анализ демографических процессов в Эстонии, Латвии и Литве с середины XX века и прогноз до конца XXI века / А.Г. Манаков, П.Э. Суворков, С.А. Станайтис // Економічний вісник університету. – Переяслав-Хмельниць. держ. пед. ун-т, 2017. – В. 33/1. – С.125–135.
13. Розподіл населення за статтю та віком. Всеукраїнський перепис населення 2001 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://2001.ukrcensus.gov.ua/results/demografic\\_population/demografic\\_1/sel\\_21?box=2.1W&rz=1\\_1&k\\_t=00&botton=cens\\_db](http://2001.ukrcensus.gov.ua/results/demografic_population/demografic_1/sel_21?box=2.1W&rz=1_1&k_t=00&botton=cens_db)
14. *Саріогло, В.* Оцінка чисельності наявного населення України [Електронний ресурс] / В. Саріогло, Д. Дубілет, І. Вернер, К. Пацера, М. Данюк, О. Чертов, П. Полікарчук. – Режим доступу: [https://t.me/dmytro\\_dubilet/578](https://t.me/dmytro_dubilet/578).
15. Населення України за 2018 рік. Формування приросту (скорочення) чисельності населення у 1991–2018 роках [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_ukr\\_2018.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_ukr_2018.pdf).

---

16. Населення України. Природний рух населення у 2019 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op\\_n\\_mov.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_n_mov.asp) .

17. Населення України. Міграційний рух населення у 2019 році: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op\\_migr.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_migr.asp) .

18. Население отдельных территорий Донецкой и Луганской областей сокращается [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://donbass.live/2019/10/08/naselenye-dnr-y-lnr-sokrashhaetsya-danne-statystyky/> .

19. *Стельмах, Л.* Статеві-віковий склад населення: узагальнене відображення природного та міграційного руху людей [Електронний ресурс] / Л. Стельмах. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/druk/coment/Intervu/Intervu130905.html>.

20. Населення України. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrstat.gov.ua>.

21. Розподіл пенсіонерів по видах та розмірах призначених пенсій станом на 1 січня 2020 року. Пенсійний фонд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.facebook.com/pfu.gov.ua/posts/2603656499762493> .

22. Рівень безробіття в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/unemploy/> .

23. Освіта по-українськи. Окремі показники системи вищої освіти в Україні [Електронний ресурс] / Економічна правда. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2017/02/15/620955/> .

24. *Обух, В.* Обсяги виробництва і споживання хліба і хлібобулочних виробів нетривалого зберігання в Україні скоротилися [Електронний ресурс] / В. Обух // Укрінформ, 2020. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2852509-ukrainci-idat-vse-mense-hliba-berezemo-gamanci-zdorova-figuru.html>.

25. *Ралко, О.С.* Дослідження ринку хліба та хлібобулочних виробів України / О.С. Ралко // Проблеми науки. Наука – виробництву. – 2012. – В.8. – С.39-44.

#### References:

1. Gal'kiv, L.I. Demografichni determinanty rozvytku lyuds'kogho kapitalu / L.I. Gal'kiv. // Nauchnyy vestnyk DHMA. – 2013. – №1 (11E). – P. 200–204.

2. Roghozhyn, O.Gh. Ocinka potentciynykh vtrat naseleennja Ukrayiny: makroekonomichnyu pidkhid / O. Gh. Roghozhyn // Demohrafiya ta social'na ekonomika, – 2016. – № 3 (28). – P. 34–46. DOI: 10.15407/dse2016.03.034.

- 
3. Plynokos, D.D. Analiz vplyvu pryrodnogho ta mekhanichnoho rukhu naselennja na stan trudovykh resursiv / D. D. Plynokos. //Derzhava ta reghiony. Seriya: Ekonomika ta pidpryyemnytstvo. – Zaporiz'kyy nac. tekhn. un-t, 2015. – № 4 (85). – P.18-22.
  4. Kulynych, R.O. Demografichna sytuacija Ukrajiny jak faktor ekonomichnoji bezpeky / R.O. Kulynych // Molodizhnyj naukovyj visnyk UABS NBU. Serija: Ekonomichni nauky. – 2014. – № 6. – P. 228–236.
  5. Stativka, N.V. Demografichna skladova ekonomichnoji bezpeky Ukrajiny / N.V. Stativka, A.A. Smaghljuk // Teorija ta praktyka derzhavnogho upravlinnja. – 2011. – V. 1 (32). – P. 239–249.
  6. Pidghornyj, A.Z. Demografichna statystyka : navchal'nyj posibnyk / A.Z. Pidghornyj. – Odesa: ODEU, 2010. – 166 p.
  7. Pidghornyj, A.Z. Zbirnyk zadach z kursu demografichnoji statystyky: na-vchaljnyj posibnyk / A.Z. Pidghornyj, K.V. Vitkovsjka. – Odesa, ONEU, 2012. – 68 p.
  8. Silverman, E. When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches [Elektronnyj resurs] / E. Silverman, J. Bijak, J. Hilton, V. D. Cao, J. Noble // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2013. – V. 16 (4) 9. – Rezhym dostupu: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>. DOI: 10.18564/jasss.2327.
  9. Chorna, V.O. Dynamika migracijnykh procesiv v Ukraini: sociologhichnyj analiz / V.O. Chorna //Naukovi praci. Sociologhija. Chornomors'kij derzh. universytet, – 2015. – V. 246. Tom 258. – P.175–180.
  10. Kovtunenکو, Ju.V. Analiz pryrodnogho ta mekhanichnogho rukhu naselen-nja Odes'koi oblasti / Ju.V. Kovtunenکو, V.V. Shackov, V.O. Badighon // Ekonomika. Finansy. Pravo. – Odes'kij nac. politekh. un-t, 2018. – V.2. – P.23–25.
  11. Kadomets', A. Kharakterystyka kil'kosti postijnogho ta najavnogho naselennja Ukrajiny: reghionaljnyj aspekt / A. Kadomets', T.F. Rjabovolyk. Zb. tez II nauk.-prakt. konf. «Suchastnyj stan ekonomiky Ukrajiny: problemy ta perspektyvy rozvytku». – Kirovohrads'kij nac. Tekhn. un-t, 2015. – P.109–112.
  12. Manakov, A.Gh. Analyz demografycheskykh processov v Ėstonyy, Latvy i Lytve s seredyny XX veka i prohnoz do konca XXI veka / A.Gh. Manakov, P.Ė. Suvorkov, S.A. Stanajtys // Ekonomichnyj visnyk universytetu. – Perejaslav-Khmel'nyc. derzh. ped. un-t, 2017. – V. 33/1. – P.125–135.
  13. Rozpodil naselennja za stattju ta vikom. Vseukrajins'kyj perepys naselennja 2001 roku [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: [http://2001.ukrcensus.gov.ua/results/demografic\\_population/demografic\\_1/sel\\_21?box=2.1W&rz=1\\_1&k\\_t=00&botton=cens\\_db](http://2001.ukrcensus.gov.ua/results/demografic_population/demografic_1/sel_21?box=2.1W&rz=1_1&k_t=00&botton=cens_db)

- 
14. Sarioghlo, V. Ocinka chysel'nosti najavnohogo naselennja Ukrainy [Elektronnyj resurs] / V. Sarioghlo, D. Dubilet, I. Verner, K. Pacera, M. Danjuk, O. Chertov, P. Polikarchuk. – Rezhym dostupu: [https://t.me/dmytro\\_dubilet/578](https://t.me/dmytro_dubilet/578).
15. Naselennja Ukrainy za 2018 rik. Formuvannja pryrostu (skorochnenja) chysel'nosti naselennja u 1991–2018 rokakh [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_ukr\\_2018.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_ukr_2018.pdf).
16. Naselennja Ukrainy. Pryrodnyj rukh naselennja u 2019 roci [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op\\_n\\_mov.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_n_mov.asp).
17. Naselennja Ukrainy. Migracijnyj rukh naselennja u 2019 roci: [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op\\_migr.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/news/op_migr.asp).
18. Naselenye ot del'nykh terrytoryy Donetskoj i Luhanskoj oblastej sokrashchaetsja [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <https://donbass.live/2019/10/08/naselenye-dnr-y-lnr-sokrashhaetsya-danne-statystyky/>.
19. Stel'makh, L. Statevo-vikovyj sklad naselennja: uzagal'nene vidobrazhennja pryrodnogho ta migracijnogho rukhu ljudej [Elektronnyj resurs] / L. Stel'makh. – Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/druk/coment/Intervu/Intervu130905.html>.
20. Naselennja Ukrainy. Oficijnyj sajt Derzhavnoji sluzhby statystyky Ukrainy [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ukrstat.gov.ua>.
21. Rozpodil pensioneriv po vydakh ta rozmirakh pryznachenykh pensij stanom na 1 sichnja 2020 roku. Pensijnyj fond [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.facebook.com/pfu.gov.ua/posts/2603656499762493>.
22. Riven' bezrobitnja v Ukraini [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/unemploy/>.
23. Osvita po ukrajins'ky. Okremi pokaznyky systemy vyshchoji osvity v Ukraini [Elektronnyj resurs] / Ekonomichna pravda. – Rezhym dostupu: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2017/02/15/620955/>.
24. Obukh, V. Obsjaghy vyrobnyctva i spozhyvannja khliba i khlibobulochnykh vyrobiv netryvalogho zberighannja v Ukraini skorotylysja [Elektronnyj resurs] / V. Obukh // Ukrinform, 2020. – Rezhym dostupu: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2852509-ukrainci-idat-vse-mensehliba-berezemo-gamanci-zdorova-figuru.html>.
25. Ralko, O.S. Doslidzhennja rynku khliba ta khlibobulochnykh vyrobiv Ukrainy / O.S. Ralko // Problemy nauky. Nauka – vyrobnyctvu. – 2012. – V.8. – P.39-44.

---

**Шановні автори!**

**Просимо враховувати такі вимоги до рукописів статей і порядку їх подання до друку:**

1. Приймаються роботи, написані українською, російською, англійською мовами, обсягом 0,5–1 авт. арк.

2. Рукопис статті повинен мати такі елементи:

– на початку статті **англійською мовою**: прізвище ініціали автора, назва статті, адресні дані авторів (назва установи, закладу, відомча належність, адреса організації, місто, країна), розширена англомова анотація (від 1800 знаків), ключові слова, пристатейні списки використаних джерел у романському алфавіті (латиницею);

– **прізвище та ініціали автора, науковий ступінь, посада (укр. мовою)**;

– **назва статті (українською мовою)**;

– **УДК**;

– **анотація українською мовою (3–5 рядків)**;

– **основний текст статті**;

– **список використаних джерел**.

3. Основний текст статті складається з таких структурних елементів:

**Ключові слова (4–5 слів).**

**Постановка проблеми.**

**Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета статті.**

**Виклад основного матеріалу.**

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.**

**Список використаних джерел** оформлюється відповідно до ДСТУ 8302:2015. Зазначені елементи виділяються в рукописі **напівжирним шрифтом**.

4. Текст статті має бути набраний в текстовому редакторі Microsoft Word. Поля з усіх сторін – 20 мм. Шрифт – Times New Roman 14 з інтервалом 1,5.

Посилання на літературу здійснюються безпосередньо в тексті. У квадратних дужках зазначається порядковий номер використаного джерела в порядку згадування, а через кому – конкретна сторінка.

5. До редакції подаються:

– **паперовий варіант статті за підписом автора**;

– **електронний варіант статті**;

– **завірена рецензія доктора або кандидата наук відповідного профілю (крім випадків, коли автор сам має науковий ступінь доктора наук)**;

– **довідка** про автора українською мовою (прізвище, ім'я, по батькові повністю, організація, посада, адреса, науковий ступінь, вчене звання, контактні телефони, електронна адреса).

Передрук матеріалів дозволяється лише за письмової згоди редакції.

Матеріали, що публікуються, відображають позицію автора, яка може не збігатися з поглядом редакції. За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор.

Редакція залишає за собою право наукового та літературного редагування статей без додаткової консультації з автором. Листування з читачами ведеться лише на сторінках журналу.