

ISSN 2521-6643

# Системи та технології



№ 2 (58)

2019

# Системи та технології

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

№ 2 (58)

*Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки” (наказ Міністерства освіти і науки України від 04.04.2018 р. № 326, додаток 9)*

Дніпро  
Університет митної справи та фінансів  
2019

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 № 8 від 16.12.2019 р.)

*Редакційна колегія:*

<b>Поночовний Ю. Л.</b> – к.т.н., с.н.с. ( <i>головний редактор</i> );	<b>Доценко С. І.</b> – д.т.н., доц.;
<b>Іванченко О. В.</b> – к.т.н., доц. ( <i>заступник головного редактора</i> );	<b>Дрозд О. В.</b> – д.т.н., проф.;
<b>Кузьменко А. І.</b> – к.т.н., доц. ( <i>заступник головного редактора</i> );	<b>Защолкін К. В.</b> – к.т.н., доц.;
<b>Прокопович-Ткаченко Д. І.</b> – к.т.н. ( <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/10.32836/2521-6643-2019-2-58>  
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 № 148.

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 16.12.2019. 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, 2019

---

## ЗМІСТ

<b>Іванченко О. В.</b> Оцінювання рівня безпеки системи SCADA критичної інфраструктури з урахуванням доступності кібернетичних і хмарних активів .....	5
<b>Максимчук С. О., Кабак Л. В., Мороз Б. І.</b> Використання сучасних технік Data mining в митній справі України .....	33
<b>Фесенко Г. В.</b> Маршрутизація польоту мультироторного БПЛА з використанням повітряної автоматичної сервісної станції під час моніторингу території потенційно небезпечного об'єкта .....	50
<b>Vorychenko O. V., Cherniavskiy A. V.</b> Methodical issues of improvement of already existing training programs in the sphere of civil building energy efficiency based on the Ukrainian training centers .....	67
<b>Поночовний Ю. Л.</b> Аналіз концепцій управління кібербезпекою розподілених IT-інфраструктур .....	87
<b>Martyniuk O. N., Ahmesh T., Drozd O. V., Molotkov O. N., Smoktii K. V.</b> Single-level method of behavioral online testing of distributed information systems .....	102
<b>Дрозд О. В., Височина П. В., Домбровський В. Є., Сміщук К. В., Шалак О. О.</b> Моделювання роботи помножувача в критичних застосуваннях .....	115
<b>Леснікова І. Ю., Медведєв Є. П., Халіпова Н. В., Кузьменко А. І., Разгонов С. А.</b> Перспективи застосування задач транспортного спрямування в оптимізації схем виробництва та постачання сировини ...	125
<b>Фірсов О. Д., Зверєв В. П., Шаповалов О. В., Михайлов М. В.</b> Удосконалення технологічного процесу маршрутного руху .....	139
<b>Тарасенко Ю. С., Смірнов В. В., Прокопович-Ткаченко Д. І.</b> Особливості виявлення прихованих об'єктів штучного походження в умовах митного контролю .....	161
<b>Тарасенко Ю. С., Смірнов В. В., Стелюк Б. Б., Прокопович-Ткаченко Д. І.</b> Режим безеховості в інформаційно-вимірjuвальній системі митного контролю .....	170
<b>Spitzer A. S., Mashchak A. V., Tkachuk T. I., Kulyk I. V.</b> Increasing efficiency of interaction between the object and surrounding targets using positioning methodology .....	183
<b>Певнев В. Я., Таврин А. В.</b> Система обучения в высшей школе Италии и Украины .....	190
<b>Колесніков В. П., Чуприна Н. М., Гаркуша В. В., Кучкова О. В.</b> Міжнародний досвід побудови транспортно-логістичних центрів і перспективи для України .....	200

---

## CONTENTS

<b>Ivanchenko O. V.</b> Safety assessment for SCADA system of a critical infrastructure considering availability of cyber and cloud assets .....	5
<b>Maksymchuk S. O., Kabak L. V., Moroz B. I.</b> The use of modern Data mining techniques in the customs of Ukraine .....	33
<b>Fesenko H. V.</b> Routing of a multi-rotor uav using an airborne automatic service station while monitoring the territory of a potentially dangerous object ....	50
<b>Borychenko O. V., Cherniavskiy A. V.</b> The methodical issues of improvement of already existing training programs in sphere of civil building energy efficiency based of Ukrainian training centers .....	67
<b>Ponochovnyi Yu. L.</b> Analysis of cyber security management concepts for distributed it infrastructures .....	87
<b>Martyniuk O. N., Ahmesh T., Drozd O. V., Molotkov O. N., Smoktii K. V.</b> Single-level method of behavioral online testing of distributed information systems .....	102
<b>Drozd O. V., Vysochyna P. V., Dombrovskiy V. Ye., Smishchuk K. V., Shalak O. A.</b> Simulation of multiplier operation in critical applications .....	115
<b>Lesnikova I. Yu., Medvediev Ye. P., Khalipova N. V., Kuzmenko A. I., Razhonov S. A.</b> Perspectives of transport direction tasks application in the optimization of manufacturing scheme and supply of raw materials ...	125
<b>Firsov A. D., Zvieriev V. P., Shapovalov O. V., Michailov M. V.</b> Improvement of the technological process of route movement .....	139
<b>Tarasenko Yu. S., Smirnov V. V., Prokopovych-Tkachenko D. I.</b> Peculiarities of discovery of hidden objects of artificial origin in customs control .....	161
<b>Tarasenko Yu. S., Smirnov V. V., Steliuk B. B., Prokopovych-Tkachenko D. I.</b> Anechoic mode in the information-measuring system of customs control .....	170
<b>Spitzer A. S., Mashchak A. V., Tkachuk T. I., Kulyk I. V.</b> Increasing efficiency of interaction between the object and surrounding targets using positioning methodology .....	183
<b>Pevnev V. Ya., Tavrin A. V.</b> The system of higher education in Italy and Ukraine .....	190
<b>Kolesnikov V. P., Chupryna N. M., Harkusha V. V., Kuchkova O. V.</b> International experience of constructing transport and logistics centers and prospects for Ukraine .....	200

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-1>  
УДК 62-526

**О. В. Іванченко**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних наук  
та інженерії програмного забезпечення  
Університету митної справи та фінансів

### **ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ SCADA КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З УРАХУВАННЯМ ДОСТУПНОСТІ КІБЕРНЕТИЧНИХ І ХМАРНИХ АКТИВІВ**

*Зростання складності, масштабів і динаміки завдань, які виконує критична інфраструктура (КІ), потребує розширення функціональності та покращання інформаційного забезпечення системи управління нею. Значною мірою розв'язання цієї проблеми залежить від функціональної, інформаційної безпеки системи диспетчеризації та збирання даних типу SCADA, яка входить до контуру управління КІ. Особливу занепокоєність у цьому сенсі викликають не тільки відмови комп'ютерного обладнання, але й загрози, які пов'язані з реалізацією зловмисних впливів на відповідні кібернетичні активи. В запропонованій статті розглянуто можливість застосування додаткових хмарних активів з метою покращання рівня безпеки системи SCADA КІ.*

Ключові слова: система SCADA; кібернетичні та хмарні активи; структурні схеми надійності; марковське моделювання.

*Рост сложности, масштабов и динамики задач, решаемых критической инфраструктурой (КИ), требует расширения функциональности и улучшения информационного обеспечения ее системы управления. В значительной степени решение этой проблемы зависит от функциональной, информационной безопасности системы диспетчеризации и сбора данных типа SCADA, которая входит в контур управления КИ. Особую озабоченность в этом смысле вызывают не только отказы компьютерного оборудования, но и угрозы, связанные с реализацией вредоносных воздействий на соответствующие кибернетические активы. В предлагаемой статье рассмотрена возможность применения дополнительных облачных активов с целью улучшения уровня безопасности системы SCADA КИ.*

Ключевые слова: система SCADA; кибернетические и облачные активы; структурные схемы надежности; марковское моделирование.

© О. В. Іванченко, 2019

---

*Growing complexness, scalable and dynamic of tasks for Critical Infrastructure (CI) create necessary preconditions to extend functionality and to improve information support of CI management system. According to distinct significance of this issue, the solution depends on safety and security of Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA), which includes into overall circuit of the CI Management System. Note that the malicious deliberate intrusions together with different Hard Ware failures of the SCADA as well reflect growing concern about low overall availability level of the SCADA system for CI. Proposed paper is devoted to possibility to use additional cloud assets in order to improve safety and cybersecurity of SCADA system for CI.*

*Nowadays researchers should understand that different negative events, such as data breaches, hacker attacks and malicious deliberate impacts are key causes of SCADA CI failures. Moreover, due to different sudden and hidden failures, the SCADA system of CI has low availability and safety that can lead to great damages for providers and users. Therefore, before begin to create management system for CI based on SCADA system vendors will perform justification of safety and security requirements for the SCADA system. In order to solve the task vendors can be used a proposed approach. The proposed approach is based on consistent application of new and unknown techniques and models. In fact researchers can use safety and dependability diagrams, including reliability block diagrams in order to build analytical and stochastic models for different assets of SCADA CI. These models can be used by researchers to get more modeling results, further these modeling results will be used by them in order to estimate overall safety assessment for SCADA CI. Using Markov Modelling Processes results for availability assessment of the SCADA components, firewalls and password models, researchers can estimate overall safety assessment based on the use of familiar stochastic equations. In according with proposed approach users can use additional Amazon Web Services (AWS) in order to build effective functioning safety and security protection system, which can be utilized by them to improve safety level of SCADA CI. Numerical modelling results for cyber assets with deployment of AWSs how additional cloud assets into overall management circuit allow to improve overall safety level of SCADA CI about ten percent. It means that in the near future time's vendors can use cloud assets in order to create effective functioning management systems for different Critical Infrastructures with reciprocal connection among their components, service-oriented resources and diverse users' clusters.*

*Key words: SCADA system; cyber and cloud assets; reliability block diagrams; Markov Modeling Process.*

---

**Постановка проблеми.** Відомі аварії та інциденти критичної інфраструктури (КІ) засвідчують необхідність моніторингу і контролю великої кількості інформаційно-технічних станів, параметрів КІ, що значною мірою дає змогу усунути небезпечні інфраструктурні відмови. Аналогічне завдання актуальне для системи диспетчерського управління та збирання даних (SCADA) КІ.

Фактично SCADA являє собою сукупність комп'ютерного обладнання, програмного забезпечення, засобів комунікації та обміну інформацією і є одним з головних компонентів загальної системи управління КІ. Тому загрози, які існують для функціональної та інформаційної безпеки активів КІ, стосуються також системи SCADA, а для їхнього подальшого усунення пропонується застосовувати додатковий сервіс-орієнтований хмарний ресурс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до основного напрямку дослідження виконаємо аналіз відомих публікацій з урахуванням впливу хмарних систем (ХМС) на функціональну та інформаційну безпеку КІ.

Нині використання ХМС як потужного інформаційного ресурсу дає змогу покращити ефективність застосування за призначенням КІ, це засвідчують результати аналізу відомих проектів [1–3]. Водночас ХМС дозволяють отримувати, обробляти й аналізувати інформаційні потоки даних у режимі реального часу, що суттєво розширює динамічний діапазон і покращує ефективність роботи системи управління КІ. Ці обставини сприяють усебічному висвітленню інформації щодо функціонування різноманітних компонентних складових інфраструктури, дозволяють запобігти їхнім відмовам і решті збоїв на основі реалізації певних сервіс-орієнтованих функцій ХМС.

Найбільш складні функції відтворення та аналізу аварійних ситуацій також можуть бути реалізовані у вигляді додаткових хмарних сервісів, які мають під собою відповідне наукове підґрунтя і розробляються з використанням сучасних наукових методів. Крім того, ХМС можуть бути задіяні для інформаційного забезпечення симуляторів, що відтворюють відповідні негативні події та застосовуються для підготовки обслуговуючого персоналу КІ до дій в екстремальних ситуаціях [4–6]. Таким чином, ХМС можуть суттєво впливати на важливі аспекти функціональної безпеки КІ та підтримувати необхідний рівень її готовності, безвідмовності та живучості.

Не менш суттєво ХМС можуть впливати на інформаційну безпеку КІ, доповнюючи її кібернетичні активи. На рис. 1 зображена спрощена структура активів критичних інфраструктур, яка існує на сьогоднішній день.

Незважаючи на відповідність певним нормативним вимогам, відомі факти й наслідки хакерських атак на кібернетичні активи національної КІ [7] підтверджують її вразливість. Своєю чергою, сам факт наявності вразливостей створює умови щодо виникнення загроз для кібернетичних активів



системи SCADA КІ, які реалізуються зловмисниками у вигляді тих чи інших несанкціонованих дій та впливів. Запобігти цьому можна, застосувавши додаткові хмарні ресурси та сервіси, які дають змогу реалізувати надлишковий принцип захисту кіберактивів КІ шляхом створення багатофункціональних адаптивних брандмауерів (БФАБ), що використовуються для двосторонньої фільтрації інформаційного трафіка.



Рис. 1. Структура фізичних та кібернетичних активів КІ

Критичні інфраструктури структуровано можна подати у вигляді сукупності фізичних (ФА), кібернетичних (КА) та хмарних активів. Спрощену структуру хмарних активів окремо взятої КІ зображено на рис. 2.

Серед переваг використання хмарних активів для забезпечення інформаційної безпеки КІ слід також зазначити можливість підтримки функцій резервного копіювання, аварійного відновлення інформації, контролю за точками доступу до сховищ даних інфраструктури та надання захищених (тунельних) каналів зв'язку.

Зазначені сервіси у вигляді основних моделей побудови і типів ХМС (рис. 2) можуть надаватися відповідними провайдерами, серед яких найбільш потужним є компанія Amazon (AWS). Однією з переваг AWS є застосування інфраструктурної організації фізичних машин (ФМ) з високим рів-

нем віртуалізації, що покращує гнучкість управління ХМС, але не завжди забезпечує доступність їхніх відповідних сервісів. Цьому сприяють різноманітні фактори негативного впливу, що збільшують час простоїв ФМ та призводять до суттєвих ресурсних, фінансових втрат для КІ. Розглянемо яким чином виконується моделювання поведінки ХМС КІ з урахуванням аспектів доступності сервіс-орієнтованих ресурсів.

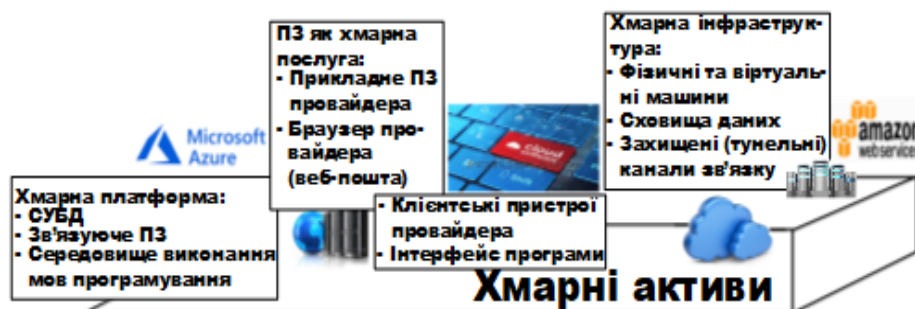


Рис. 2. Структура хмарних активів КІ

Відомо, що для оцінювання рівня доступності хмарних активів використовуються різноманітні моделі, які адекватно відображають поведінку ХМС у ситуаціях, пов'язаних з їхнім застосуванням за призначенням. У більшості випадків моделювання здійснюється згідно зі сценарієм, який відображає реалізацію окремої або групи негативних подій, наприклад раптові, приховані відмови та збої, втрата інформації в результаті зловмисних впливів або втручань, цільовий фішинг тощо. На рис. 3 зображено класифікаційну схему (таксономію) десяти найпоширеніших аналітико-стохастичних методів моделювання поведінки ХМС, які утворюють відповідні хмарні активи і разом з кібернетичними та фізичними активами входять до складу КІ.

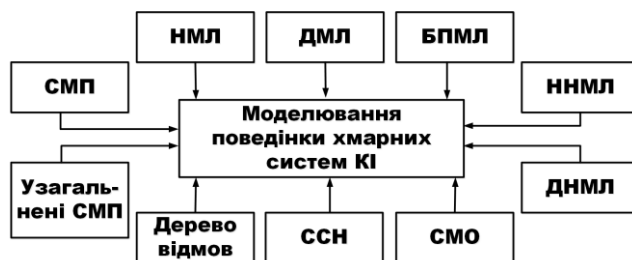


Рис. 3. Таксономія моделювання поведінки ХМС КІ [8]

---

Узагальнені дані оцінки можливостей використання зазначених методів (рис. 3) для моделювання поведінки та визначення характеристик гарантоздатності ХМС подано в табл. 1. Зокрема, стохастичні мережі Петрі (СМП) можуть бути використані для моделювання та оцінки можливостей забезпечення гнучкості управління хмарними системами. У разі наявності марковського альтернуального процесу відмов та відновлень для оцінки показників готовності ХМС доцільно використовувати узагальнені СМП [9–11]. Цей же апарат можна використовувати для оцінки показників гнучкості управління хмарною інфраструктурою (ХМІ), яка будується на основі ХМС (рис. 2). Не менш ефективно можна використовувати класичні методи побудови дерева відмов і структурних схем надійності (ССН) [1; 12] для виконання завдань забезпечення готовності ХМС. Для оцінки метрик якості послуг (QoS), що надають ХМС, може бути використано апарат побудови і моделювання як неперервних (НМЛ) [13], дискретних (ДМЛ) [14] та безпрограшних марковських ланцюгів (БПМЛ), так і систем масового обслуговування (СМО) [15; 16].

У разі порушення марковської властивості [17] пропонується застосовувати методи моделювання напівмарковських процесів, а саме напівмарковських ланцюгів (НМЛ). Наприклад, якщо виконуються різні види сервісного обслуговування, відновлення працездатності, контролю інформаційно-технічних станів (ІТС) компонентів ХМС КІ, то з'являються додаткові інтервали часу, тривалість яких є детермінованою або випадковою величиною з відомим стохастичним розподіленням, що відрізняється від експоненціального. Напівмарковські моделі також досить добре узгоджуються та адекватно описують ситуації, коли необхідно враховувати передісторію розвитку подій, які стосуються об'єкта дослідження. Наприклад, до та після проведення середнього або капітального ремонту; коли виникають приховані відмови, які виявляються за допомогою проведення додаткового багатofункціонального контролю ІТС і технічних параметрів ХМС КІ.

У випадку детермінованої величини для моделювання застосовується метод побудови дискретних напівмарковських ланцюгів (ДНМЛ); у разі стохастично розподілених інтервалів часу застосовується метод побудови неперервних напівмарковських ланцюгів (ННМЛ). Для виконання подібних завдань використовують апарат вкладених марковських ланцюгів, який враховує дискретний характер переходів моделі та час перебування об'єкта дослідження в конкретному стані перед переходом в інший. Крім того, застосування вкладених марковських ланцюгів дозволяє суттєво спростити рутинний процес отримання результуючих виразів для моделювання поведінки складних систем, до яких належать ХМС КІ.

Розширити можливості аналізу поведінки ХМС та ХМІ, що входять до складу інформаційно-управляючих систем КІ, дозволяє також використання прихованих напівмарковських моделей. Цей тип моделей використовується в умовах, коли інформації про ІТС системи, яка досліджується, немає, але доступна інформація щодо динаміки зміни її вхідних та вихідних параметрів. Приховані напівмарковські моделі будуються у вигляді ДНМЛ або ННМЛ. Особливістю прихованих напівмарковських ланцюгів є дискретний або стохастичний характер зміни тривалості наявних інтервалів, які у більшості випадків характеризують вхідний інформаційний потік даних [18].

Таблиця 1

**Стохастичні методи моделювання поведінки ХМС КІ [17]**

№	Моделі, які застосовуються для реалізації відповідного методу	Можливість використання для оцінки характеристик гарантоздатності ХМС КІ				
		готовність	продуктивність	енерговитрати	гнучкість	масштабованість
1	СМП	–	–	–	+	–
2	Узагальнені СМП	+	–	–	+	–
3	НМЛ	+	+	+	+	+
4	ДМЛ	+	+	+	+	+
5	БПМЛ	+	+	+	+	+
6	ННМЛ	+	+	+	+	+
7	ДНМЛ	+	+	+	+	+
8	СМО	+	+	–	+	–
9	ССН	+	–	–	–	+
10	Дерево відмов	+	–	–	+	–

Розглянуті методи та модельний ряд певною мірою претендують на універсальність і можуть бути використані для отримання оптимальних архітектурних рішень відповідно до встановлених критеріїв гарантоздатності, функціональної та інформаційної безпеки для ХМС КІ.

**Мета статті.** Виконаний аналіз дає змогу зосередитися на створенні перспективних науково-прикладних, організаційних методів забезпечення функціональної та інформаційної безпеки ХМС КІ, які базуються на попередніх оцінках доступності їхніх сервісів. Виходячи із зазначеного, мета статті – оціню-

вання загального рівня безпеки системи SCADA КІ з урахуванням спільного застосування наявних кібернетичних активів і додаткових сервіс-орієнтованих хмарних ресурсів компанії Amazon та отримання результатів марковського моделювання відповідно до сценарію розвитку певних негативних подій.

**Виклад основного матеріалу.** Забезпечення необхідного рівня безпеки базується на комплексному та системному застосуванні організаційних заходів і науково-методичного апарату оцінювання доступності КА та ФА системи SCADA КІ. Наприклад, методи побудови периметра фізичної безпеки (ФПБ) та електронного периметра кібербезпеки (ЕПКБ) розглядаються як найбільш популярні щодо реалізації відповідних організаційних заходів. Структурну схему організації ФПБ та ЕПКБ для системи SCADA та інших компонентів КІ зображено на рис. 4.

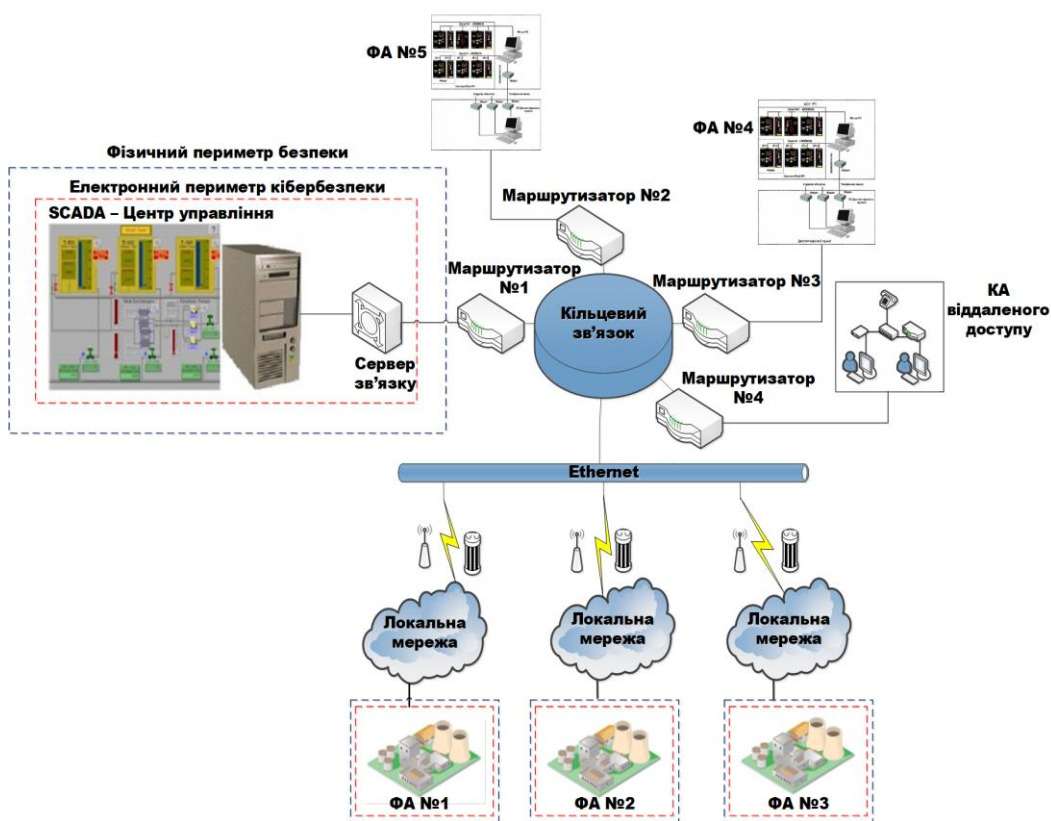


Рис. 4. Структурна схема організації фізичного периметра безпеки та електронного периметра кібернетичної безпеки компонентів КІ

---

Водночас перевірка ефективності застосування ФПБ та ЕПКБ для компонентів КІ, включаючи кібернетичні активи SCADA, може здійснюватися шляхом оцінювання їхнього рівня безпеки згідно з методом, запропонованим у праці [17]. Для цього послідовно виконуються такі дії: а) побудова спрощеної архітектурної реалізації кібернетичних, хмарних активів системи SCADA КІ з урахуванням мережних рівнів обробки даних, контролю та моніторингу ІТС, параметрів інфраструктури; б) застосування методів дерева відмов та побудови ССН [12] спільно з відповідним модельним рядом (табл. 1); в) визначення показника ризику кібернетичних, хмарних активів SCADA КІ у разі виникнення негативних подій, які впливають на функціональну та інформаційну безпеку інфраструктури.

На рис. 5 зображено спрощену архітектурну реалізацію кібернетичних та хмарних активів системи SCADA КІ. Головна особливість наведеної архітектури полягає в утворенні паралельно підключеного контура хмарних активів AWS, який працює за принципом функціональної та ресурсної надмірності. Отже, необхідно виконати моделювання і дослідити, яким чином застосування додаткових сервісів AWS впливає на гарантоздатність, загальний рівень безпеки кібернетичних та хмарних активів системи SCADA КІ. В табл. 2 згідно з рис. 5 відображено результати аналізу можливостей використання сервісів AWS щодо забезпечення гарантоздатності SCADA КІ.

У табл. 2 враховано такі аспекти оцінки та забезпечення гарантоздатності [19] SCADA КІ, розвитку яких сприяє застосування сервісів AWS: А1 – узагальнення викликів, які обумовлені несправностями та змінами вимог і умов використання системи SCADA КІ; А2 – покращання аналізу забезпечення відмовостійкості кібернетичних активів SCADA КІ; А3 – багатроверсійні обчислення у контексті факторів еволюційного розвитку кібернетичних активів SCADA КІ.

Побудуємо теоретико-множинну модель ІТС системи SCADA КІ, виходячи з таксономії загрози її функціональній та інформаційній безпеці [17; 19], відповідно до вимог стандартів ISA/IEC 62443, IEC 61508. На першому етапі розбудови моделі розглянемо схему її реалізації з урахуванням зловмисних впливів (ЗЛВ) на функціональну та інформаційну безпеку SCADA КІ (рис. 6), яка враховує дефекти компонентних складових ФА, вразливості й загрози для кібернетичних та хмарних активів системи. Вважати-мемо, що різноманітні зовнішні та внутрішні фактори ЗЛВ спричиняють погіршення ІТС SCADA КІ за рахунок виникнення відмов, збоїв, проникнення шкідливого трафіка, компрометації системи тощо.

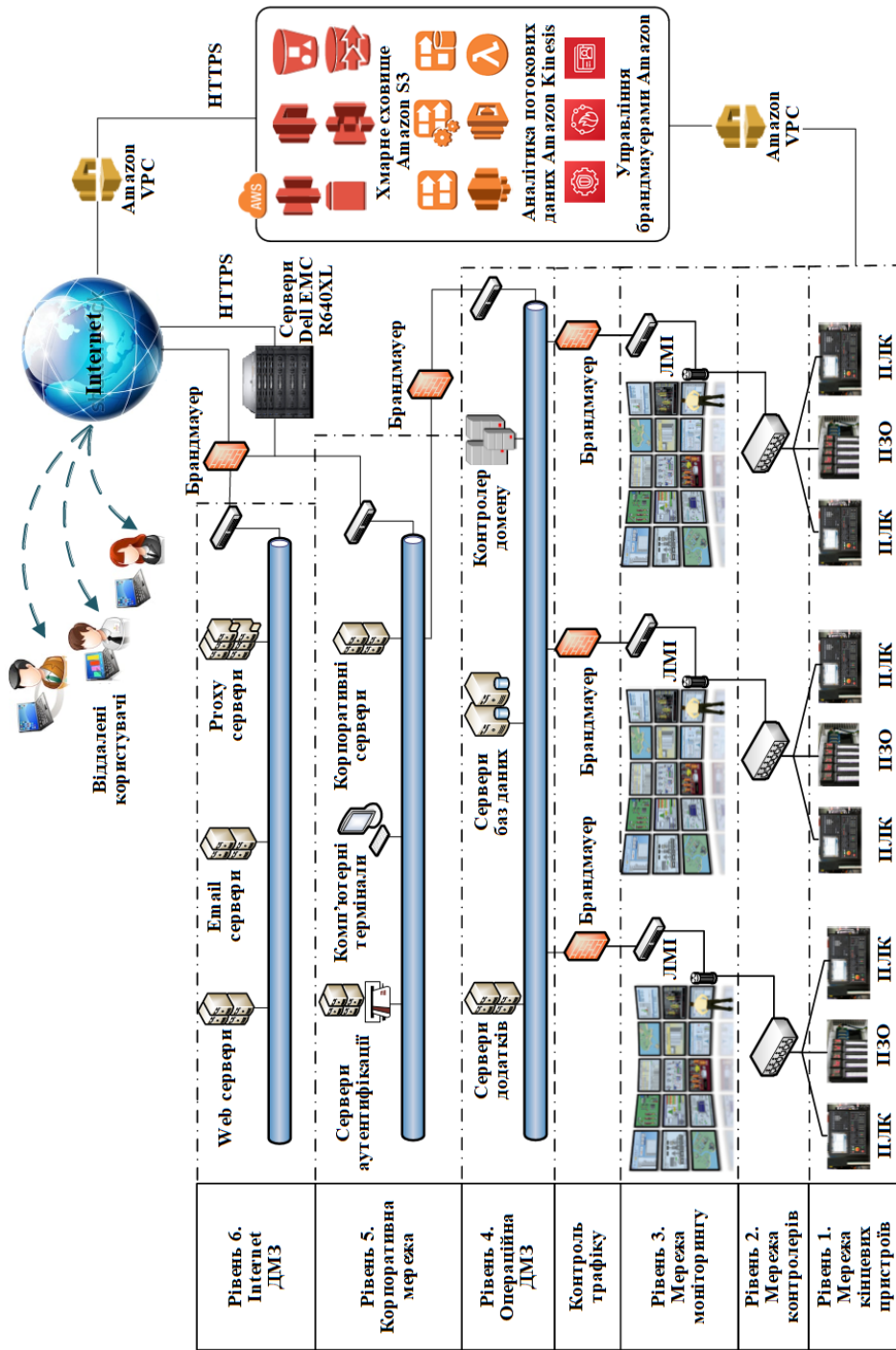


Рис. 5. Спрощена архітектурна реалізація кібернетичних [20] та хмарних активів системи SCADA КІ

## Застосування AWS для забезпечення гарантоздатності SCADA

Назва сервісу AWS	Призначення сервісу AWS	Аспекти оцінки та забезпечення гарантоздатності SCADA KI, розвитку яких сприяє застосування сервісів AWS		
		A1	A2	A3
Управління брандмауерами Amazon	Гнучке управління процесами фільтрації трафіка	-	+	-
Аналітика поточкових даних Amazon Kinesis	Прийом, обробка, аналіз аномалій, розподілення та доставка інформаційних потоків даних	+	+	+
Хмарне сховище Amazon S3	Запис та збереження даних великих обсягів	-	+	+
Віртуальна приватна хмара Amazon VPC	Створює захищені приватні мережі та підмережі без відображення IP-адрес в Internet	+	-	-

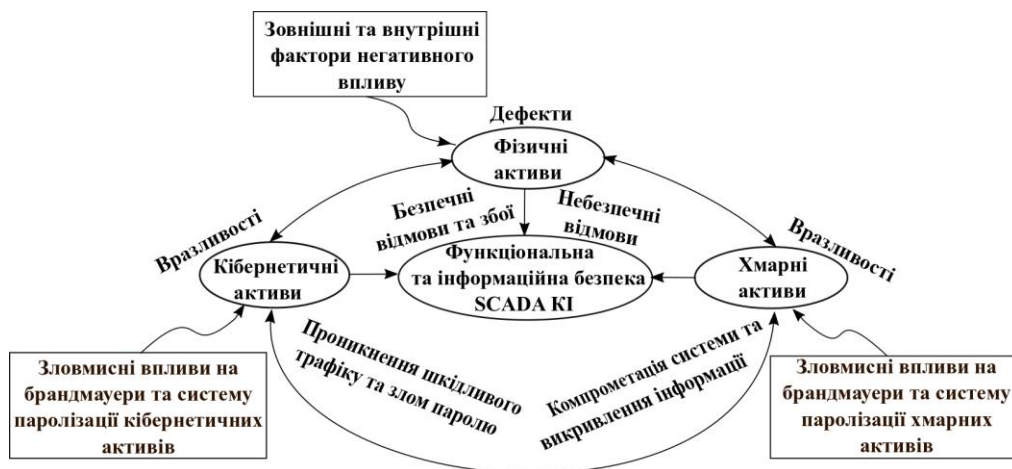


Рис. 6. Схема реалізації теоретико-множинної моделі ІТС SCADA KI з урахуванням ЗЛВ на її фізичні, кібернетичні та хмарні активи



Згідно з поданою схемою (рис. 6), можливі моделі ІТС опишемо за допомогою таких нотацій:  $M_{FF}^{PhA}$  – множина станів, що описують безпечні відмови та збої ФА;  $M_{DMI}^{CbrA}$  – множина станів, що описують ЗЛВ на КА;  $M_{DMI}^{CldA}$  – множина станів, що описують ЗЛВ на хмарні активи;  $M_{SS}^{SCADA}$  – множина станів, що характеризують функціональну та інформаційну безпеку SCADA. Тоді, виходячи із загальної теорії, відображення  $\Omega(x_1): M_{FF}^{PhA} \Rightarrow M_{SS}^{SCADA}$  задає відношення між множинами  $M_{FF}^{PhA}$  та  $M_{SS}^{SCADA}$ , яке ототожнюється з деякою підмножиною  $H_{PhA}^{SCADA}$  декартового добутку [21]  $M_{FF}^{PhA} \times M_{SS}^{SCADA}$ , що має назву графіка відображення  $\Omega(x_1)$  і визначається як:

$$H_{PhA}^{SCADA} = \left\{ (x_1, y_1) \mid x_1 \in M_{FF}^{PhA} \wedge y_1 \in M_{SS}^{SCADA} \wedge \Omega(x_1) = y_1 \right\}. \quad (1)$$

Аналогічно до відображення  $\Omega(x_1)$  та відповідно до (1) задаються відображення  $\Omega(x_2): M_{DMI}^{CbrA} \Rightarrow M_{SS}^{SCADA}$ ,  $\Omega(x_3): M_{DMI}^{CldA} \Rightarrow M_{SS}^{SCADA}$ ,  $\Omega(w_1): M_{DMI}^{CbrA} \Rightarrow M_{FF}^{PhA}$ ,  $\Omega(w_2): M_{DMI}^{CldA} \Rightarrow M_{FF}^{PhA}$ , тобто

$$H_{CbrA}^{SCADA} = \left\{ (x_2, y_2) \mid x_2 \in M_{DMI}^{CbrA} \wedge y_2 \in M_{SS}^{SCADA} \wedge \Omega(x_2) = y_2 \right\}, \quad (2)$$

$$H_{CldA}^{SCADA} = \left\{ (x_3, y_3) \mid x_3 \in M_{DMI}^{CldA} \wedge y_3 \in M_{SS}^{SCADA} \wedge \Omega(x_3) = y_3 \right\}, \quad (3)$$

$$N_{CbrA}^{PhA} = \left\{ (w_1, z_1) \mid w_1 \in M_{DMI}^{CbrA} \wedge z_1 \in M_{FF}^{PhA} \wedge \Omega(w_1) = z_1 \right\}, \quad (4)$$

$$N_{CldA}^{PhA} = \left\{ (w_2, z_2) \mid w_2 \in M_{DMI}^{CldA} \wedge z_2 \in M_{FF}^{PhA} \wedge \Omega(w_2) = z_2 \right\}. \quad (5)$$

Отримана таким чином опорна теоретико-множинна модель (1)–(5), доповнена формалізованим описом початкових умов, режимів експлуатації та напрямків переходів відповідного графа ІТС, може бути використана для побудови оцінної аналітико-стохастичної моделі безпеки (ОМБ) системи SCADA КІ, яка враховує зовнішні та внутрішні фактори негативного впливу на ФА, зловмисні впливи на кібернетичні та хмарні активи. Для моделювання застосуємо таку систему обмежень:

$$\mathfrak{S} = \begin{cases} \theta \subset \Theta, \mathcal{G}_k = \emptyset, k \notin i, i = \overline{1, n}; \\ \varphi \subset \Theta, \mathcal{G}_f \neq \emptyset, f \in j, j = \overline{1, m}; \\ \varepsilon \subset \Theta, \mathcal{G}_p = \emptyset, p \notin s, s = \overline{1, \ell}; \\ \rho \subset \Theta, \mathcal{G}_g \neq \emptyset, g \in z, z = \overline{1, h}; \\ A_{SCADA_{i,s}}(t) \geq A_{SCADA_0}; \\ A_{SCADA_{j,z}}(t) < A_{SCADA_0}; \\ C_{min_0} \leq C_0 \leq C_{max_0}; \\ C_0 > C_{max_0}; \end{cases} \quad (6)$$

де  $\Theta = \theta \cup \varphi \cup \varepsilon \cup \rho$  – показник цикломатичної складності (ЦКС), значення якого відповідає сукупності графів інформаційно-технічних станів марковського процесу моделювання (МПМ) поведінки системи SCADA КІ (далі скорочено – графів МПМ);  $\theta = \{\mathcal{G}_i\}_{i=1}^n$  – множина ІТС, яка відповідає значенню показника ЦКС для графів МПМ без поглинаючих станів;  $\varphi = \{\mathcal{G}_j\}_{j=1}^m$  – множина ІТС, яка відповідає значенню показника ЦКС для графів МПМ з поглинаючими станами;  $\varepsilon = \{\mathcal{G}_s\}_{s=1}^{\ell}$  – множина ІТС, що відповідає значенню показника ЦКС для графів МПМ, які не містять станів вразливості та дефектів (рис. 6);  $\rho = \{\mathcal{G}_z\}_{z=1}^h$  – множина ІТС, що відповідає значенню показника ЦКС для графів МПМ, які містять стани вразливості та дефектів (рис. 6);  $\mathcal{G}_k, \mathcal{G}_f$  – значення показника ЦКС для графів МПМ, які містять поглинаючі стани;  $\mathcal{G}_p, \mathcal{G}_g$  – значення показника ЦКС для графів

---

МППМ, які містять стани вразливості та дефектів;  $A_{SCADA_0}$  – граничні допустимі значення стаціонарного коефіцієнта готовності (КГ);  $C_0$  – граничні витрати на підтримання необхідного рівня готовності системи SCADA KI.

У системі обмежень (6) показник ЦКС визначається згідно зі співвідношенням [22]:

$$g = E - N + 2, \quad (7)$$

де  $E$  – кількість переходів графа;  $N$  – кількість вершин графа.

Подальший процес моделювання відбувається за відповідним сценарієм розвитку ЗЛВ, функціональну схему реалізації якого зображено на рис. 7. Вважатимемо, що зломисники створюють і застосовують шкідливий трафік (ШКТ), який впливає на ФА, КА та хмарні активи SCADA KI. Формально ШКТ можна подати у вигляді пуасонівської течії подій, основні характеристики якої можна отримати, застосувавши експоненціальний закон розподілу та співвідношення, за допомогою яких описується МППМ [23].

Діючи відповідно до зображеної функціональної схеми (рис. 7), зломисники прагнуть досягти таких цілей [24]:

1) створити умови щодо проникнення ШКТ через брандмауери, тобто уникнути дій, пов'язаних з виконанням функцій фільтрації вхідних інформаційних потоків;

2) отримати доступ до КА без автентифікаційної процедури перевірки паролю або здійснити злом паролю;

3) проникнути в систему, тобто здійснити її злом, компрометацію, викривлення інформації; замінити корисну інформацію на сфальсифіковану або реалізувати інформаційне перевантаження КА та хмарних активів для припинення доступу до них;

4) створити умови (наприклад, DoS атака, розгортання шкідливої ботмережі), коли за рахунок відключення КА та хмарних активів виникають відмови компонентів, які утворюють ФА.

Отримаємо результати оцінювання рівня безпеки без урахування вартості наслідків ЗЛВ для поданого сценарію (рис. 7), коли всі зазначені процеси відбуваються як марковські, враховуючи випадкові події, які трапляються на інтервалах застосування за призначенням брандмауерів, системи паролізації та SCADA KI. Сукупність цих інтервалів утворює загальний робочий цикл або цикл оцінювання, протягом якого відбувається складна подія  $A$  (рис. 8).

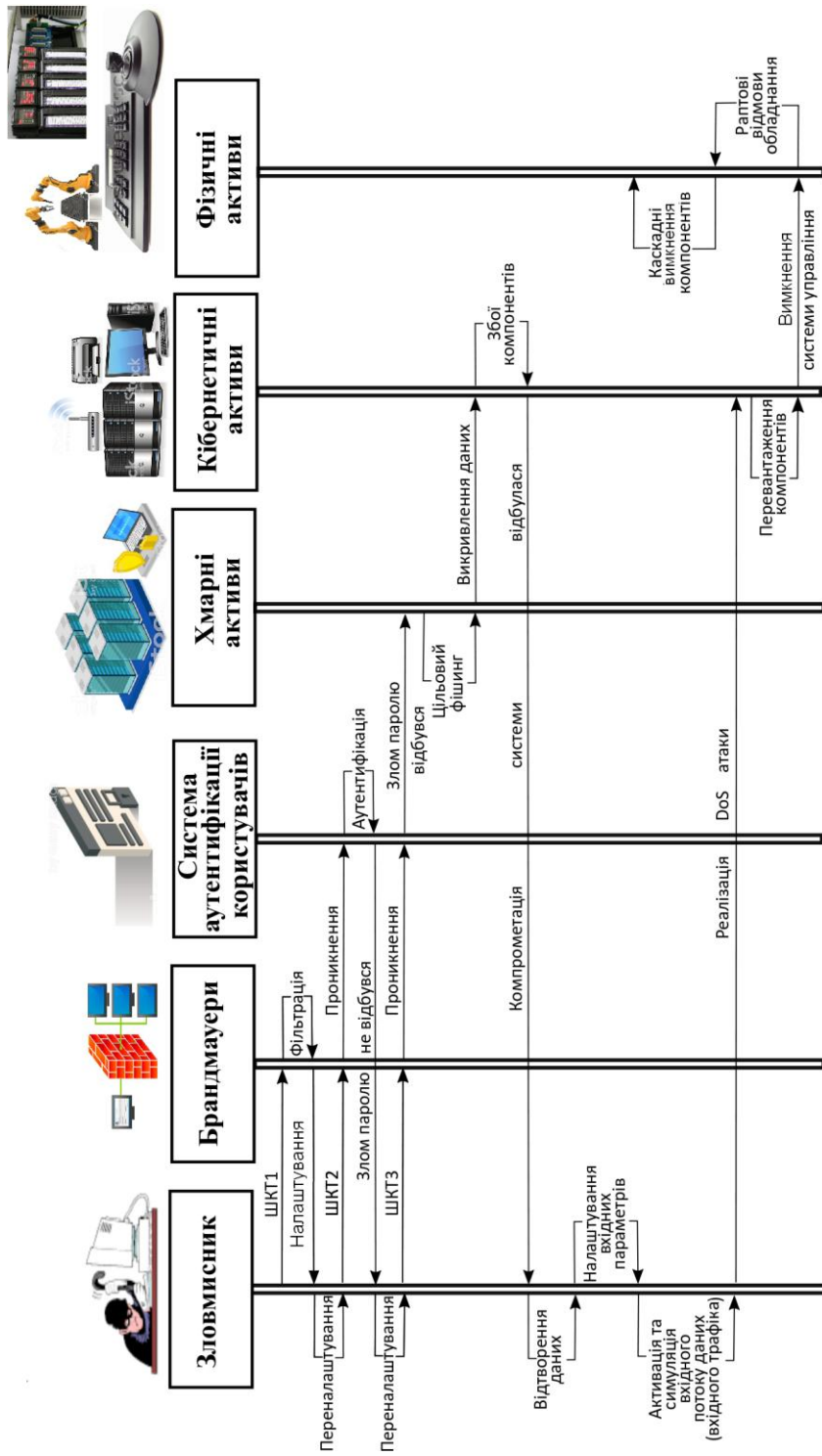


Рис. 7. Функціональна схема реалізації сценарію ЗЛВ на активи SCADA КІ

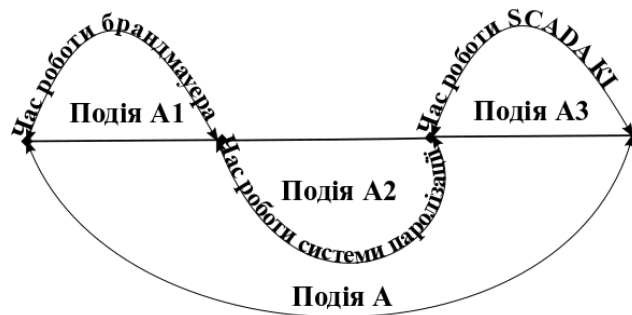


Рис. 8. Загальний цикл оцінювання рівня безпеки SCADA KI

Відповідно до рис. 8 випливає, що комплексний показник безпеки  $W_{SCADA}$  можна визначити як імовірність події  $A$ , застосувавши відомі теореми складання та множення імовірностей [23], а саме:

$$W_{SCADA} = P_{FW}P_{PS}A_{SCADA} + [1 - P_{FW}]P_{PS}A_{SCADA} + P_{FW}[1 - P_{PS}]A_{SCADA} + [1 - P_{FW}][1 - P_{PS}]A_{SCADA}, \quad (8)$$

де  $P_{FW}$  – ймовірність успішного виконання брандмауером функцій фільтрації вхідних інформаційних потоків (вхідного трафіка);  $P_{PS}$  – ймовірність успішного виконання системою паролізації автентифікаційної процедури перевірки пароля;  $A_{SCADA}$  – стаціонарний коефіцієнт готовності SCADA KI.

Для визначення складових співвідношення (8) застосуємо МПМ та метод побудови структурних схем безпеки [17]. На рис. 9 зображено граф станів спрощеної марковської моделі функціонування брандмауера (БДМ), на яку поширюються дії системи обмежень (6).

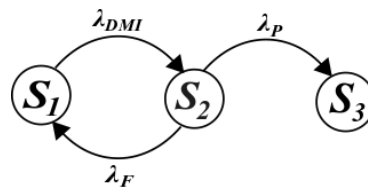


Рис. 9. Граф станів спрощеної марковської моделі функціонування БДМ

У процесі функціонування (рис. 9) БДМ може перебувати в трьох станах:

- 1) стан  $S_1$  – БДМ працездатний та готовий до фільтрації вхідного трафіка;
- 2) стан  $S_2$  – БДМ здійснює фільтрацію ШКТ (тобто загрозу усунуто) з інтенсивністю  $\lambda_F$ , який надходить на вхід з інтенсивністю  $\lambda_{DMI}$  і характеризує спробу зловмисника проникнути в систему;
- 3) стан  $S_3$  – функція фільтрації БДМ вимкнена (тобто наявність загрози) та ШКТ з інтенсивністю  $\lambda_p$  успішно потрапляє в систему.

У початковий момент часу, коли  $t=0$ , модель перебуває в стані, в якому характеризується імовірностями  $P_1(0)=1$ ,  $P_2(0)=P_3(0)=0$ . Для отримання результатів моделювання запишемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова [23] за умови, що  $\sum_{i=1}^3 P_i(t) = 1$

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_F P_2(t) - \lambda_{DMI} P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{DMI} P_1(t) - (\lambda_F + \lambda_p) P_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_p P_2(t). \end{cases} \quad (9)$$

Виконавши пряме перетворення Лапласа для системи диференціальних рівнянь (9) з урахуванням початкового розподілення імовірностей, перейдемо до системи лінійних рівнянь виду

$$\begin{cases} (s + \lambda_{DMI}) \pi_1(s) - \lambda_F \pi_2(s) = 1; \\ -\lambda_{DMI} \pi_1(s) + (s + \lambda_F + \lambda_p) \pi_2(s) = 0; \\ -\lambda_p \pi_2(s) + s \pi_3(s) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язавши систему лінійних рівнянь (10) методом Крамера та виконавши зворотне перетворення Лапласа, отримаємо співвідношення для визначення імовірностей  $P_i(t)$ , де  $i = 1, 2, 3$ . Зважаючи на те, що система паролізації працює синергічно з брандмауерами, як її характеристики використовуватимемо аналогічні ймовірнісні показники. Тому для кількісної оцінки зазначених показників системи паролізації доцільно використовувати системи рівнянь (9) та (10).

Оцінка стаціонарного коефіцієнта готовності  $A_{SCADA}$  може бути отримана шляхом використання аналітико-стохастичного методу побудови структурних схем безпеки та відповідних вхідних даних, які подано в [17]. Зокрема, на рис. 10 зображено діаграму системної відмови (ДСВ) кібернетичних та хмарних активів SCADA KI.

Відповідно до ДСВ (рис. 10) комплексна ймовірнісна оцінка готовності КА та хмарних активів SCADA KI може бути визначена так:

$$UnAvailability = P(\Phi(X) = 0) = P\{UA_{1-3} \cup UA_4 \cup [UA_5 \cap UA_6] \cup \overline{FW4} \cup \cup [\overline{FW5} \cap (\overline{Dell EMC} \cup DMI)]\}, \quad (11)$$

$$UA_{1-3} = \left\{ [\overline{Cluster1} \cup DMI] \cup \overline{FW1} \right\} \cap \left\{ [\overline{Cluster2} \cup DMI] \cup \overline{FW2} \right\} \cap \cap \left\{ [\overline{Cluster3} \cup DMI] \cup \overline{FW3} \right\}, \quad (12)$$

$$UA_4 = [\overline{AppSRV} \cup DMI] \cap [\overline{DBSRV} \cup DMI] \cap [\overline{DmnCTL} \cup DMI], \quad (13)$$

$$UA_5 = [\overline{AuthSRV} \cup DMI] \cap [\overline{CTU} \cup DMI] \cap [\overline{EntprSRV} \cup \cup DMI] \cap [\overline{AWS} \cup DMI], \quad (14)$$

$$UA_6 = [\overline{WebSRV} \cup DMI] \cap [\overline{EmailSRV} \cup DMI] \cap [\overline{ProxySRV} \cup DMI], \quad (15)$$

де  $\overline{Dell EMC}$  – подія, яка полягає в неготовності універсальної серверної платформи для IT-інфраструктур [25], яка розгорнута на основі масштабованої системної архітектури для збереження великих обсягів даних, проведення складних обчислювальних операцій та розподілення вхідних потоків даних (вхідного трафіка);  $\overline{AWS}$  – подія, що полягає в неготовності сервіс-орієнтованих ресурсів хмарного провайдера Amazon, характеристику яких наведено в табл. 2.

У запропонованій моделі подія, позначена як  $\overline{AWS}$ , заслуговує особливої уваги, тому що характеризує відмову всієї ХМІ Amazon. Саме ця подія відбулася в лютому 2017 р., коли всі хмарні сервіси AWS були недоступні внаслідок неправильних дій обслуговуючого персоналу [26]. Характеристика решти складових, які входять у співвідношення (11–15), наведена в [17].

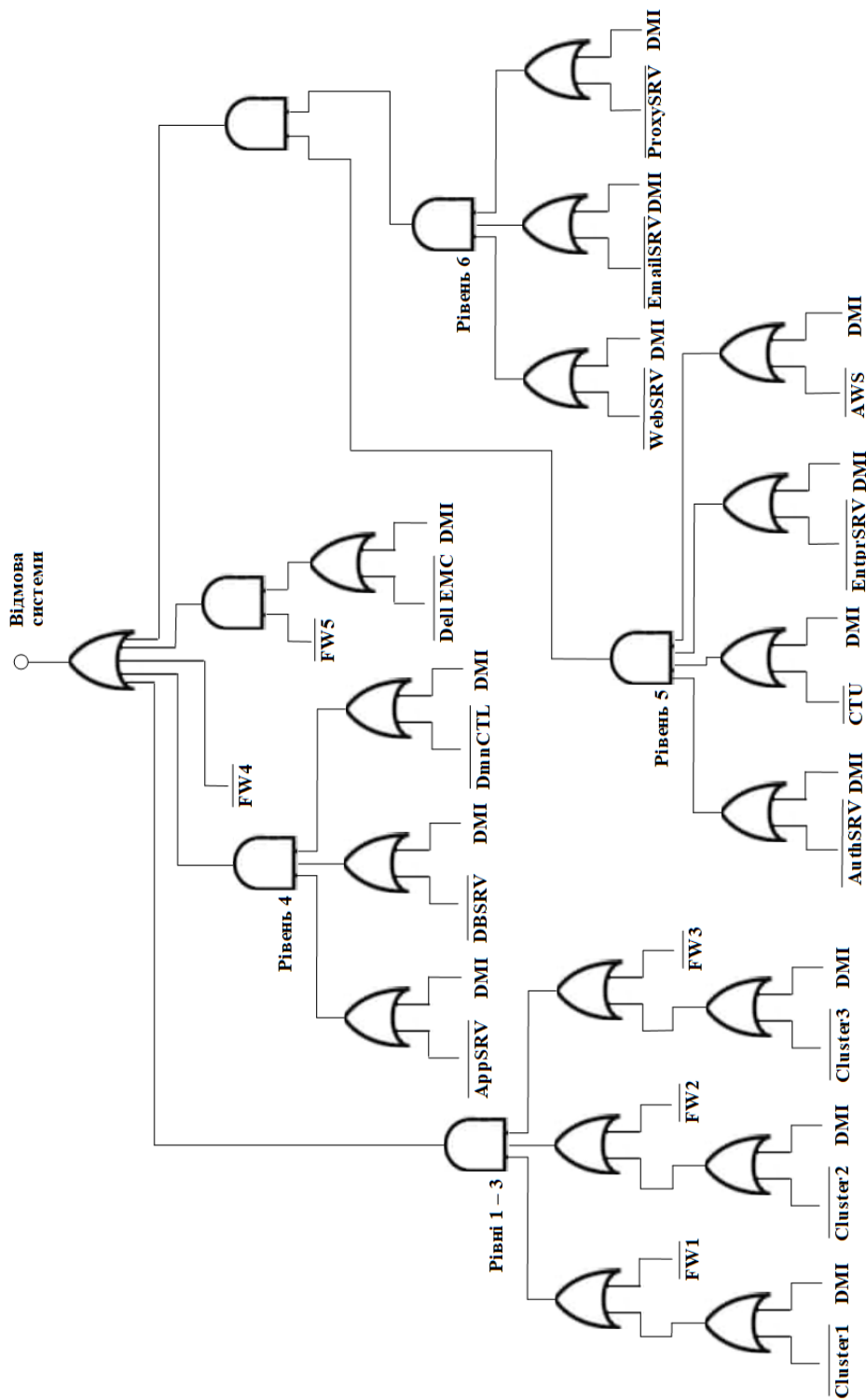


Рис. 10. Діаграма системної відмови кібернетичних та хмарних активів системи SCADA КІ



Тоді ймовірність події, яка полягає в тому, що всі КА та хмарні активи SCADA KI будуть доступні, може бути записана у вигляді

$$Availability = 1 - UnAvailability = 1 - P\{UA_{1-3} \cup UA_4 \cup [UA_5 \cap UA_6] \cup \overline{FW4} \cup \cup [\overline{FW5} \cap (\overline{Dell EMC} \cup DMI)]\}. \quad (16)$$

Застосуємо отриману ДСВ (рис. 10) для побудови ССН [1; 12; 17]. На рис. 11 зображено ССН кібернетичних та хмарних активів SCADA KI, що побудована з урахуванням послідовності подій, логіка реалізації яких визначається співвідношеннями (11)–(16).

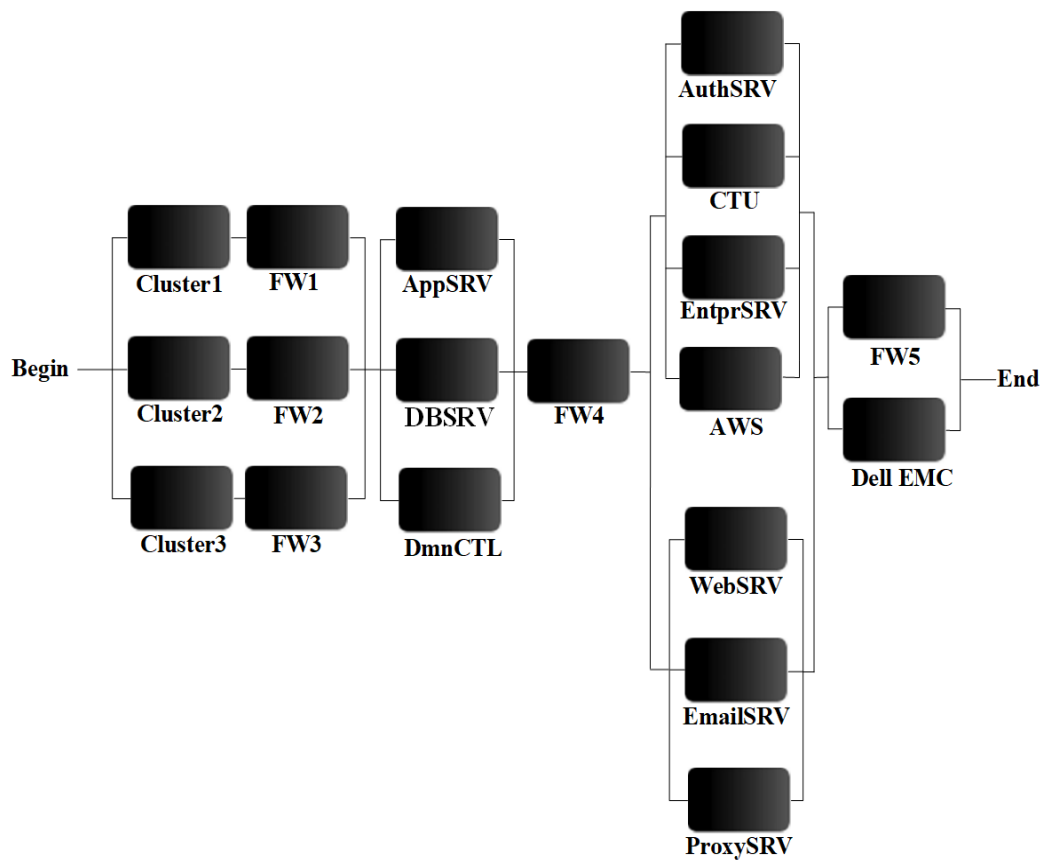


Рис. 11. Структурна схема надійності КА та хмарних активів SCADA KI

Використовуючи зображену ССН (рис. 11), співвідношення для визначення стаціонарного коефіцієнта готовності КА та хмарних активів SCADA KI можна записати так:

$$A_{SCADA} = \{I - [I - A_{Cluster1} A_{FW1}] \times [I - A_{Cluster2} A_{FW2}] \times [I - A_{Cluster3} A_{FW3}]\} \times \\ \times \{I - [I - A_{AppSRV}] \times [I - A_{DBSRV}] \times [I - A_{DmnCTL}]\} \times \{I - [I - A_{AuthSRV}] \times \\ \times [I - A_{CTU}] \times [I - A_{EntprSRV}] \times [I - A_{WebSRV}] \times [I - A_{EmailSRV}] \times [I - A_{AWS}] \times \\ \times [I - A_{ProxySRV}]\} \times \{I - [I - A_{FW5}] \times [I - A_{Dell EMC}]\} \times A_{FW4}. \quad (17)$$

Співвідношення (6)–(17) пов'язані між собою аналітико-стохастичною залежністю і можуть бути використані для розробки відповідного алгоритму оцінки комплексного показника безпеки  $W_{SCADA}$  (8) з урахуванням доступності КА та хмарних активів SCADA KI.

---

**Алгоритм 1:** ОЦІНКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА БЕЗПЕКИ  $W_{SCADA}$  SCADA KI

---

```

1  Визначення часу моделювання  $W_{SCADA}(T)$  як  $T = \sum_{i=1}^n t_i$ 
2  Ввод вхідних параметрів  $\lambda_{DMI_{max}}, \lambda_{DMI_{step}}, \lambda_F, \lambda_P, t_{min}, t_{step}, A_{SCADA_k}$ 
3  Визначення  $A_{SCADA} = \prod_k A_{SCADA_k}$ 
3  for  $i = 1$  to  $n$  do
4  |  $\lambda_{DMI_i} = \lambda_{DMI_{max}} - i \cdot \lambda_{DMI_{step}}$ 
5  | for  $j = 1$  to  $m$  do
6  | |  $T_j = t_{min} + j \cdot t_{step}$ ;
7  | |  $k1_{ij} = \lambda_P \cdot \lambda_{DMI_i}; k2_{ij} = 1 / [\lambda_{DMI_i} \cdot (\lambda_P - \lambda_F)]$ ;
8  | |  $c1_{ij} = -\lambda_P / 2 - \lambda_{DMI_i} / 2; c2_{ij} = \text{sqrt}(\lambda_P^2 - 2\lambda_P \cdot \lambda_{DMI_i} + \lambda_{DMI_i}^2 + 4\lambda_{DMI_i} \cdot \lambda_F)$ ;
9  | |  $c3_{ij} = -\exp\{c1_{ij} - 0,5 \cdot c2_{ij}\}; c4_{ij} = \exp\{c1_{ij} + 0,5 \cdot c2_{ij}\}; k3_{ij} = -c3_{ij} \cdot \lambda_P$ ;
10 | |  $k4_{ij} = c4_{ij} \cdot \lambda_P; k4_{ij} = c4_{ij} \cdot \lambda_P; k5_{ij} = c3_{ij} \cdot \lambda_{DMI_i}; k6_{ij} = c4_{ij} \cdot \lambda_{DMI_i}$ ;
11 | |  $k7_{ij} = c2_{ij} \cdot c3_{ij}; k8_{ij} = c2_{ij} \cdot c4_{ij}; L_{ij} = k3_{ij} + k4_{ij} - k5_{ij} + k6_{ij} + k7_{ij} + k8_{ij}$ ;
12 | |  $Z_{ij} = 2\lambda_{DMI_i} \cdot c2_{ij} (\lambda_P - \lambda_F); P_{FW_{ij}} = P_{PS_{Networks}} = k1_{ij} \cdot [k2_{ij} - L_{ij} / Z_{ij}]$ ;
13 | |  $W_{SCADA_{ij}} = P_{FW_{ij}}^2 + (1 - P_{FW_{ij}}) \cdot A_{SCADA_{AWS}} \cdot [2P_{FW_{ij}} + (1 - P_{FW_{ij}})]$ ;
14 | end
15 end
16 figure;
17 meshgrid( $T_j, \lambda_{DMI_i}$ ); surf( $T_j, \lambda_{DMI_i}, W_{SCADA_{ij}}$ );
18 shading interp; colormap parula; colorbar;
```

---

На рис. 12–14 зображено результати моделювання із застосуванням розробленого алгоритму 1 у вигляді тривимірної залежності для випадку, коли протягом доби зловмисники здійснюють атаку на активи SCADA КІ. Результати отримано за умови, що атака здійснюється за сценарієм, функціональна схема реалізації якого зображена на рис. 7.

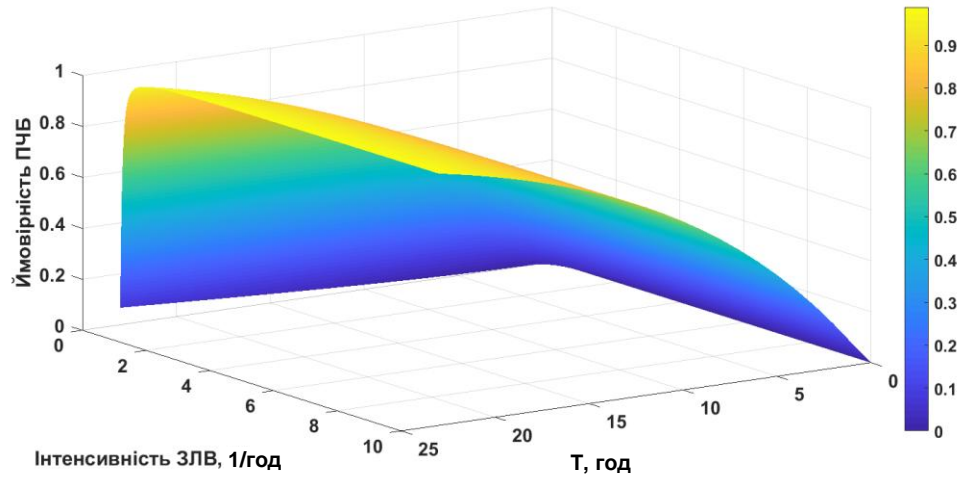


Рис. 12. Залежність імовірності проникнення ЗЛВ через брандмауери (ПЧБ) та злому системи паролізації SCADA КІ від інтенсивності та тривалості дії ШКТ

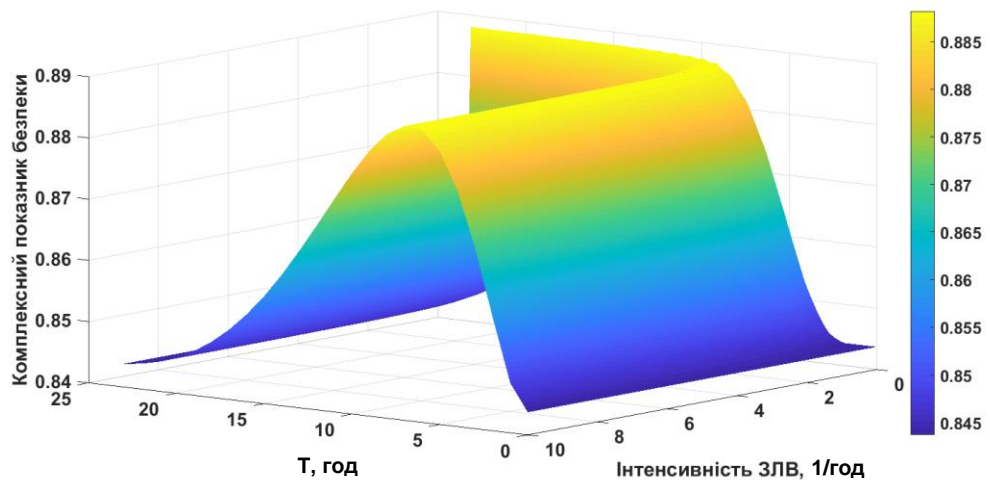


Рис. 13. Залежність комплексного показника безпеки кібернетичних активів SCADA КІ від інтенсивності ЗЛВ та тривалості дії ШКТ

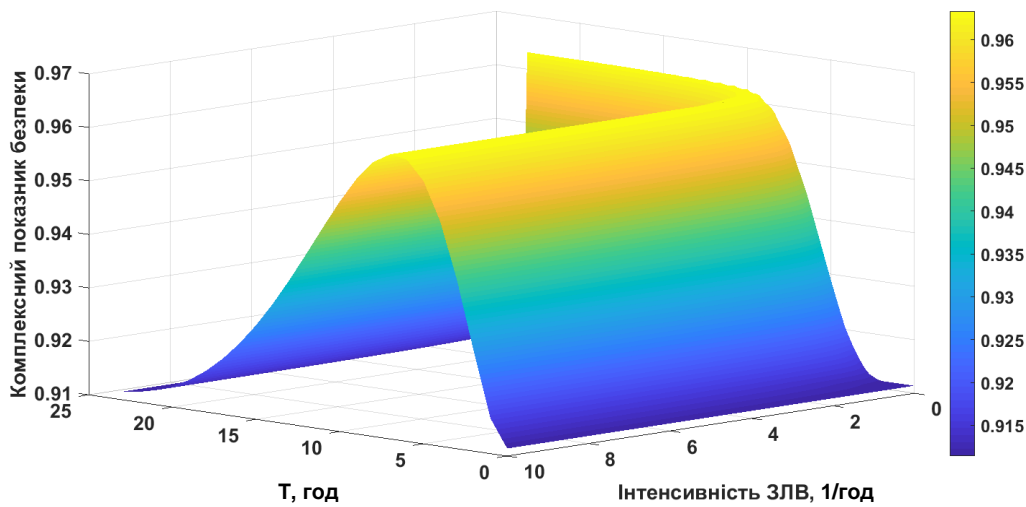


Рис. 14. Залежність комплексного показника безпеки кібернетичних і хмарних активів SCADA KI від інтенсивності ЗЛВ та тривалості дії ШКТ

Узагальнені результати моделювання залежності комплексного показника безпеки  $W_{SCADA}$  від інтенсивності фільтрації шкідливого трафіка  $\lambda_F$  за умови, що ймовірність ПЧБ змінюється відповідно до рис. 12 та інтенсивність зловмисного впливу  $\lambda_{DMI_{max}} = 10$  1/год, зображено на рис. 15.

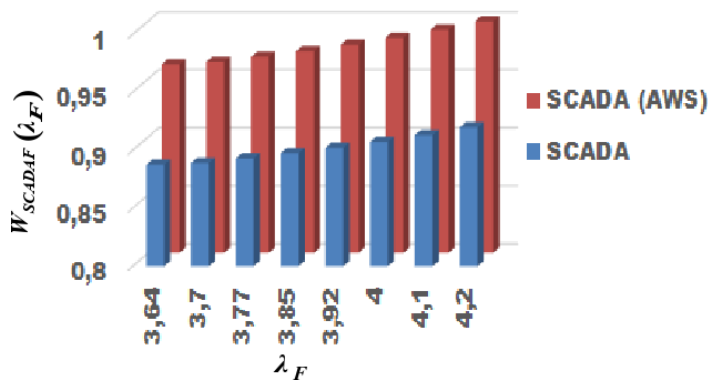


Рис. 15. Узагальнені результати моделювання залежності  $W_{SCADA}(\lambda_F)$  для кібернетичних та хмарних активів SCADA KI

---

Отримані результати моделювання (рис. 12–15) підтверджують доцільність застосування додаткових хмарних ресурсів для підтримання необхідного рівня функціональної та інформаційної безпеки SCADA КІ.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Отримані результати аналітико-стохастичного моделювання в умовах зловмисних впливів та дії шкідливого трафіка свідчать про переваги застосування додаткових хмарних активів, що дає змогу підтримувати необхідний рівень безпеки системи SCADA КІ. Кількісні результати моделювання підтверджують, що використання хмарних активів спільно з відповідними системами кіберзахисту дозволяє підвищити значення комплексного показника безпеки на 10 % порівняно з рівнем безпеки на основі застосування лише кібернетичних активів.

Подальші перспективи розвитку розглянутого науково-методичного апарату, сервіс-орієнтованих систем, інформаційної технології пов'язані з можливістю їхньої реалізації в контурі управління критичними інфраструктурами для підвищення ефективності використання КІ за призначенням з дотриманням високих стандартів гарантоздатності й доступності всіх видів ресурсів.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (державний реєстраційний номер: 0119U100979), які проводяться Національним аерокосмічним університетом ім. М. Є. Жуковського у галузі забезпечення інформаційної безпеки критичних інфраструктур.

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.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Dantas J., Matos R., Araujo J., Maciel P.* Eucalyptus-based private clouds: availability modeling and comparison to the cost of a public cloud // *Computing*. 2015. Vol. 97 (11). P. 1121–1140.
2. *Byun J., Kim Y., Hwang Z., Park S.* An intelligent cloud-based energy management system using machine to machine communications in future energy environments: materials in 2012 *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. USA, 2012. P. 664–665.
3. *Yigit M., Gungor V. C., Baktir S.* Cloud computing for smart grid applications // *Computer Networks*. 2014. Vol. 70. P. 312–329.

---

4. *Anderson D., Gkountouvas T., Meng M.* GridCloud: infrastructure for cloud-based wide area monitoring of bulk electric power grids // *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2018. Vol. 10 (2). P. 2170–2179.

5. *Bakken D.* Smart grids: clouds, communications, open source and automation. London: CRC Press, 2014. 60 p.

6. *Marzal S., González-Medina R., Salas-Puente R.* An embedded Internet of energy communication platform for the future smart microgrids management // *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. Vol. 6 (4). P. 7241–7252.

7. *Fairley P.* Cybersecurity at U.S. utilities due for an upgrade: tech to detect intrusions into industrial control systems will be mandatory *IEEE Spectrum*. 2016. Vol. 53 (5). P. 11–13.

8. *Иванченко О., Харченко В.* Анализ стохастических методов метамоделирования и оценивания готовности облачных инфраструктур // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2016. № 6 (80). С. 6–11.

9. *Ghosh R., Longo F., Xia R.* Stochastic Model Driven Capacity Planning for an Infrastructure-as-a-Service Cloud // *IEEE Transaction on Services Computing*. 2013. Vol. 7(4). P. 667–680.

10. *Tuffin B., Trivedi K.* Implementation of Importance Splitting Techniques in Stochastic Petri Net Package: materials in 11th International Conference, TOOLS 2000 Schaumburg, USA. 2000. P. 216–229.

11. *Trivedi K., Sahner R.* SHARPE at the Age of Twenty Two // *ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review*. 2009. Vol. 36 (4). P. 52–57.

12. *Melo M., Maciel P., Araujo J.* Availability study on cloud computing environments: live migration as a rejuvenation mechanism: materials in 43rd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN), Hungary, 2013. P. 1–6.

13. *Khazaei H., Barna C., Litoiu M.* Performance modeling of microservice platforms considering the dynamics of the underlying cloud infrastructure. 2019. URL: <https://arxiv.org/pdf/1902.03387v1.pdf>

14. *Trivedi K., Sharma V.* Quantifying software performance, reliability and security: an architecture-based approach // *Journal of Systems and Software*, 2007. Vol. 80 (4) P. 493–509.

15. *Mateo-Fornés J., Solsona-Tehàs F., Vilaplana-Mayoral J.* CART, a decision SLA model for SaaS providers to keep QoS regarding availability and performance // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 38195–38204.

16. *Ardagna D., Ciavotta M., Passacantando M.* Generalized nash equilibria for the service provisioning problem in multi-cloud systems // *IEEE Transactions on Services Computing*. 2019. Vol. 10 (3). P. 381–395.

- 
17. Іванченко О. Аналітико-стохастичний метод побудови структурних схем безпеки кібернетичних активів системи SCADA критичної інфраструктури // Системи та технології. 2019. № 1 (57). С. 81–106.
  18. Yu S.-Z., Kobayashi H. A hidden semiMarkov model with missing data and multiple observation sequences for mobility tracking // Signal Processing. 2003. Vol. 83 (2). P. 235–250.
  19. Харченко В. С. Гарантоздатні системи та багатOVERсійні обчислення, аспекти еволюції // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2009. № 7 (41). С. 46–59.
  20. Ahmed I., Obermeier S., Naedele M., Richard III G. G. Scada systems: Challenges for forensic investigators // Computer. 2012. Vol. 45 (12), P. 44–51.
  21. Касьянов В. Применение графов в программировании // Программирование. 2001. № 27 (3). С. 51–76.
  22. Ammann P., Offutt J. Introduction to software testing. Cambridge University Press, 2016. 50 p.
  23. Bolch G., Greiner S., De Meer H., Trivedi K. Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications. John Wiley & Sons, 2006. 878 p.
  24. Ten C. W., Liu C., Manimaran G. Vulnerability assessment of cybersecurity for SCADA systems // IEEE Transactions on Power Systems. 2008. Vol. 23 (4). P. 1836–1846.
  25. Dell Incorporation (2018) // EMC PowerEdge R640, Technical Guide. URL: [https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content\\_data-Sheets\\_Documents/en/us/PowerEdge-R640-Technical-Guide.pdf](https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content_data-Sheets_Documents/en/us/PowerEdge-R640-Technical-Guide.pdf)
  26. AWS (2018) // Summary of the Amazon S3 Service Disruption in the Northern Virginia (US-EAST-1) Region. URL: <https://aws.amazon.com/ru/message/41926>

#### References:

1. Dantas J., Matos R., Araujo J., & Maciel P. (2015), *Eucalyptus-based private clouds: availability modeling and comparison to the cost of a public cloud*, journal *Computing*, vol. 97(11), pp. 1121–1140.
2. Byun J., Kim Y., Hwang Z., Park S. (2012), “An intelligent cloud-based energy management system using machine to machine communications in future energy environments”, materials in *2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, USA. P. 664–665.
3. Yigit M., Gungor V. C. and Baktir S. (2014), “Cloud computing for smart grid applications”, journal *Computer Networks*, vol. 70, pp. 312–329.

- 
4. Anderson D., Gkountouvas T., Meng M., Birman K., Bose A., Hauser C., Zhang Q. (2018), “*GridCloud: infrastructure for cloud-based wide area monitoring of bulk electric power grids*”, journal *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10(2), p. 2170-2179.
  5. Bakken D. (2014) *Smart Grids: clouds, communications, open source and Automation*. London: CRC Press, 2014, 60 p.
  6. Marzal S., González-Medina R., Salas-Puente R., Garcerá G., Figueres E. (2019), “*An Embedded Internet of Energy Communication Platform for the Future Smart Microgrids Management*”, journal *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6(4), p. 7241–7252.
  7. Fairley P. (2016). “*Cybersecurity at U.S. utilities due for an upgrade: Tech to detect intrusions into industrial control systems will be mandatory*”, journal *IEEE Spectrum*, vol. 53(5), p. 11–13.
  8. Ivanchenko O., Kharchenko V. (2016), “*Analysis of stochastic methods for metamodeling and availability estimation for cloud infrastructure*”, journal *Radioelectronic and computer systems*, vol. (80), p. 6–11.
  9. Ghosh R., Longo F., Xia R., Naik K. and Trivedi K. (2013). “*Stochastic Model Driven Capacity Planning for an Infrastructure-as-a-Service Cloud*”, journal *IEEE Transaction on Services Computing*, vol. 7(4), p. 667–680.
  10. Tuffin B. and Trivedi K. (2000), “*Implementation of Importance Splitting Techniques in Stochastic Petri Net Package*”, materials in *11th International Conference, TOOLS 2000 Schaumburg, USA*, p. 216–229.
  11. Trivedi, K. and Sahner, R. (2009). “*SHARPE at the Age of Twenty Two*”, journal *ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review*, vol. 36(4), p. 52–57.
  12. Melo M., Maciel P., Araujo J., Matos R. and Araujo C. (2013), “*Availability study on cloud computing environments: Live migration as a rejuvenation mechanism*”, materials in *43rd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)*, Hungary, P. 1–6.
  13. H. Khazaei, C. Barna and M. Litoiu (2019), *Performance Modeling of Microservice Platforms Considering the Dynamics of the Underlying Cloud Infrastructure*, [Online], available at: <https://arxiv.org/pdf/1902.03387v1.pdf>
  14. Trivedi K. and Sharma V. (2007), “*Quantifying software performance, reliability and security: An architecture-based approach*”. *Journal of Systems and Software*, vol. 80 (4), p. 493–509.
  15. Mateo-Fornés J., Solsona-Tehàs F., Vilaplana-Mayoral J., Teixidó-Torrelles I., Rius-Torrentó J. (2019). “*CART, a Decision SLA Model for SaaS Providers to Keep QoS Regarding Availability and Performance*”, journal *IEEE Access*, vol. 7, p. 38195–38204.



- 
16. Ardagna D., Ciavotta M. and Passacantando M. (2015). “Generalized nash equilibria for the service provisioning problem in multi-cloud systems”, journal *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 10(3), p. 381–395.
  17. Ivanchenko O. (2019). “Analytical and stochastic method in order to build safety and security block diagrams of cyber assets of SCADA system for critical infrastructure”, journal *Systems and Technologies*, vol. 1(57), p. 81–106.
  18. Yu S.-Z. and Kobayashi H. (2003). “A hidden semiMarkov model with missing data and multiple observation sequences for mobility tracking”, journal *Signal Processing*, vol. 83(2), pp. 235–250.
  19. Kharchenko and V. (2009). “Dependable systems and multi-version computing: aspects of evolution”, journal *Radioelectronic and computer systems*, vol. 7(41), p. 46–59.
  20. Ahmed I., Obermeier S., Naedele M. and Richard III, G. G. (2012), “Scada systems: Challenges for forensic investigators”, journal *Computer*, vol. 45(12), pp. 44–51.
  21. Kasyanov V. (2001), “Primenenie grafov v programmirovanii”, nauchno-tehnicheskii zhurnal *Programmirovaniye*, vol. 27(3), pp. 51–76.
  22. Ammann P. and Offutt J. Introduction to software testing. Cambridge University Press, 2016, 50 p.
  23. Bolch G., Greiner S., De Meer H. and Trivedi K. *Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications*. John Wiley & Sons, 878 p.
  24. Ten C. W., Liu C. and Manimaran, G. (2008). “Vulnerability assessment of cybersecurity for SCADA systems”, journal *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23(4), p. 1836–1846.
  25. Dell Incorporation (2018), *EMC PowerEdge R640, Technical Guide*, [Online], available at: [https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content\\_data-Sheets\\_Documents/en/us/PowerEdge-R640-Technical-Guide.pdf](https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content_data-Sheets_Documents/en/us/PowerEdge-R640-Technical-Guide.pdf)
  26. AWS (2018), *Summary of the Amazon S3 Service Disruption in the Northern Virginia (US-EAST-1) Region*, [Online]. available at: <https://aws.amazon.com/ru/message/41926>

**С. О. Максимчук**, магістрант  
Університету митної справи та фінансів  
**Л. В. Кабак**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмного  
забезпечення комп'ютерних систем  
Національного технічного університету  
“Дніпровська політехніка”  
**Б. І. Мороз**, доктор технічних наук,  
професор кафедри програмного  
забезпечення комп'ютерних систем  
Національного технічного університету  
“Дніпровська політехніка”

### **ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНІК DATA MINING В МИТНІЙ СПРАВІ УКРАЇНИ**

*Розглянуто техніки й алгоритми інтелектуального аналізу даних, проаналізовано актуальність їх використання для ведення бізнесу і державного управління за сучасних умов розвитку інформаційних технологій та їх впровадження з метою автоматизації різноманітних сфер людської діяльності. Проаналізовано сучасні тенденції застосування технології інтелектуального аналізу даних в митній справі, інтеграції цієї технології в системи аналізу ризиків для виявлення шахрайської діяльності, а також для отримання інших потенційно корисних прогнозів на основі аналізу раніше здобутих даних. Запропоновано приклад одного з можливих варіантів використання інтелектуального аналізу даних у системах контролю ризиків, а саме аномальний аналіз. Для цього використано базу даних Oracle з опцією Advanced Analytics, техніку Anomaly Detection, створено прототип таблиці з даними про операції експорту й імпорту товарів.*

*Ключові слова: база даних Oracle; інтелектуальний аналіз даних; виявлення аномалій; фіскальна служба; система контролю ризиків.*

*Рассмотрены техники и алгоритмы интеллектуального анализа данных, проанализирована актуальность их использования для ведения бизнеса и государственного управления в современных условиях развития информационных технологий и их внедрения с целью автоматизации различных сфер*

© С. О. Максимчук, Л. В. Кабак, Б. І. Мороз, 2019

---

человеческой деятельности. Рассмотрены и проанализированы современные тенденции использования технологии интеллектуального анализа данных в таможенной деятельности, интеграции данной технологии в системы анализа рисков с целью обнаружения мошеннической деятельности, а также для получения других потенциально полезных прогнозов на основе анализа ранее добытых данных. Предложен пример одного из возможных вариантов использования интеллектуального анализа данных в системах контроля рисков, а именно аномальный анализ. Для этого была использована СУБД Oracle с опцией *Advanced Analytics*, техникой *Anomaly Detection* и создан прототип таблицы с данными по операциям экспорта и импорта товаров.

Ключевые слова: база данных Oracle; интеллектуальный анализ данных; выявление аномалий; фискальная служба; система контроля рисков.

*Nowadays using of data mining analytics is actual question. Data mining techniques and their algorithms are becoming more common and necessary. Data warehouses stores very big amount of data at the moment and their volume increases every day. Performing analysis of data with data mining techniques and algorithms allows to detect new potentially helpful and beneficial patterns in data that can be used to make prediction. So getting results of predictive analytics helps to make right business decisions for entrepreneur and solve many issues for government institution.*

*Customs of developed countries started using data mining through integration of data mining tools in the risk management systems to detect fraud behavior and get other useful information from data as well. It is possible to find some study related to this issue.*

*Risk management systems which are used by Ukrainian customs does not support data mining tools. Simultaneously, Ukrainian customs uses Oracle Database as well. So using data mining techniques and algorithms build-in Oracle Database is obvious step to extend the available risk management system and keep up to date. So this work reveals modern tendencies and importance of integration data mining technology in business and public administration.*

*In this article have been considered data mining techniques, modern tendencies of the usage data mining technology by customs, integration of such a technology in the risk management systems so as to detect fraud behavior and get other potentially useful predictions based on data has been collected before. You can find brief descriptions of data mining techniques such as anomaly detection, classification, clustering, regression, anomaly detection in this article as well as real-world examples how each of this techniques can be applied for customs need. Also here have been proposed, designed, implemented and described real scenario of usage Oracle Data Mining in customs, in particular usage of anomaly detection*

---

*technic for analysis tables which store data of export and import operations in order to detect fraud behavior. The results have been described in this work and it have been represented graphically.*

**Key words:** *Oracle Database; data mining; anomaly detection; customs; risk management system.*

**Постановка проблеми.** Нині майже кожна фірма чи організація використовує базу даних для збереження, обробки й накопичення інформації, інколи навіть не одну. Аналізуючи раніше зібрану інформацію, можна отримувати корисні висновки і прогнози для використання у розвитку фірми або організації або для передбачення негативних явищ з метою запобігання їм. Для цього й застосовується інтелектуальний аналіз даних. Сучасні техніки, алгоритми й інструменти для його реалізації стають дедалі необхіднішими, розвинутими й гнучкими, а технологія – більш поширеною і запитуваною, ніж кілька років тому.

Зазначена технологія може успішно використовуватись як для ведення бізнесу і прийняття бізнес-рішень фірмами будь-якого розміру, так і для запровадження в державних установах. Фіскальна служба не виняток у цьому списку. Інтелектуальний аналіз даних можна використовувати для отримання різних прогнозів. Зокрема, така технологія інтегрується до системи контролю ризиків, наприклад, використовуючи техніку аномального аналізу та її алгоритми для виявлення шахрайської діяльності або інших аномалій. І це не єдиний можливий варіант використання технології інтелектуального аналізу даних. Розвинуті країни вже успішно використовують можливості інтелектуального аналізу даних, досягаючи необхідних результатів.

Фіскальна служба України має на меті відповідати світовим стандартам, для чого вона розвивається і реформується для досягнення цієї мети в нинішні часи. Вона також використовує систему контролю ризиків, яка побудована з використанням технології, відмінної від Data Mining. У сучасному світі той, хто перестає розвиватись, програє. Тому питання переходу на нові технології, техніки, алгоритми й інструменти інтелектуального аналізу даних залишається актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині на ринку існує чимало програмного забезпечення, середовищ розробки та інструментів для здійснення інтелектуального аналізу даних. Вони дають змогу використовувати всі переваги технік і алгоритмів Data Mining як у вигляді графічного інтерфейсу, так і з використанням мов програмування. Прикладами таких продуктів є: Oracle Data Mining, Microsoft SQL Server Integration Services, Rapid Miner Studio, STATISTICA і багато інших [1; 2].

Технологія Data Mining може бути застосована у різних сферах. Її можуть використовувати підприємці, наукові організації і державні інституції, застосовуючи ту чи іншу техніку та її алгоритми для виконання відповідних завдань.

---

Компанія Oracle надає систему управління базами даних (далі – СУБД) із вбудованим у неї інструментарієм для інтелектуального аналізу даних. Компанії, які використовують засоби й послуги компанії Oracle, діляться своїми історіями про успіхи та описують варіанти використання засобів інтелектуального аналізу даних. Наприклад, Turkcell є найбільшою телекомунікаційною компанією в Туреччині, яка використовує Oracle Advanced Analytics та Oracle Data Mining для аналізу записів клієнтів із метою виявлення потенційних шахрайських викликів та їхніх проплачених клієнтів. Stubhub – це торговельний майданчик для продажу квитків. Компанія використовує Oracle Advanced Analytics для кращого розуміння клієнтів компанії та їхньої поведінки в Інтернеті. Національна лабораторія Argonne використовує Oracle Data Mining, щоб моделювати та прогнозувати схильність кристалізації білків із білкових послідовностей. Вчені лабораторії змогли використати Oracle Data Mining для ідентифікації набору атрибутів, що корелюють схильність білків до кристалізації, вони також використовують Oracle Data Mining для побудови необхідних моделей [3; 4].

Використання технології Data Mining в митній справі – не нове питання. Застосування технік і алгоритмів Data Mining описується в працях, автором яких є Бертран Лапорт (Bertrand Laporte). Наприклад, у дослідженні, що має назву “Inspecting less to inspect better: The use of data mining for risk management by customs administrations”, де він разом зі співавторами наводить модель системи контролю ризиків, яка побудована з використанням засобів Data Mining для виявлення шахрайської активності під час оформлення митних декларацій [5].

Використання техніки класифікації для виявлення шахрайської діяльності демонструють автори статті “A Novel Unsupervised Classification Method for Customs Fraud Detection”, наводячи відповідні розрахунки й результати [6].

Фіскальна служба використовує Автоматизовану систему аналізу та управління ризиками (далі – АСАУР), що базується на використанні алгоритмів нечіткої логіки (fuzzy logic) [7]. Водночас Єдина автоматизована інформаційна система ДФС побудована з використанням бази даних Oracle [8]. Отже, логічно було б використовувати інструменти інтелектуального аналізу даних, які входять до сучасних версій бази даних Oracle, і виконувати завдання контролю ризиками з використанням засобів Data Mining, які включені в СУБД.

Використовуючи наведені тенденції і керуючись досвідом попередніх дослідників, у статті проведено власне дослідження порушеного питання, розроблено прототип, який прозоро демонструє можливість застосування описаної технології митницями України.

---

**Мета статті** – проаналізувати актуальність використання технології інтелектуального аналізу даних, її алгоритмів і технік, а також сучасні тенденції впровадження даної технології на митницях, її інтеграції до систем контролю ризиків митниць, розглянути можливість застосування цієї технології в системі контролю ризиків фіскальної служби України, запропонувавши можливі варіанти використання її технік та алгоритмів і продемонструвати розроблений власноруч приклад з конкретними даними, технікою аналізу, моделлю і результатом.

**Виклад основного матеріалу.** Щоб продемонструвати можливість застосування технік і алгоритмів Data Mining, було створено й налаштовано модель аналізу даних з використанням техніки Anomaly Detection та її алгоритму One-Class Support Vector Machine з використанням СУБД Oracle, котра містить опцію Advanced Analytics, частиною якої є Oracle Data Mining. Використовувалось також розширення Oracle Data Miner середовища Oracle SQL Developer для побудови моделі в графічному інтерфейсі. Було створено прототип бази даних фіскальної служби з цільовими даними для аналізу. Проектування здійснювалось із використанням середовища Star UML та Microsoft Visio. Перш ніж розглядати конкретну реалізацію, необхідно розібратися у фундаментальних поняттях.

Data Mining (інтелектуальний аналіз даних або отримання даних) – це процес виявлення в сирих, раніше накопичених даних, раніше не відомих, нетривіальних, практично корисних і доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень у різних сферах людської діяльності [9].

Технологія Data Mining об'єднує техніки, описані нижче й зображені на рис. 1, кожна з яких базується на одному або кількох алгоритмах:

- класифікація (classification) – зарахування об'єктів (спостережень, подій) до одного із заздалегідь відомих класів;
- регресія (regression) – установлення залежності безперервних вихідних від вхідних змінних;
- кластеризація – групування об'єктів (спостережень, подій) на основі даних (властивостей), що описують сутність цих об'єктів, у кластери. Об'єкти всередині кластера мають бути “схожими” один на одного й відрізнятися від об'єктів, що ввійшли в інші кластери. Чим більше схожі об'єкти усередині кластера й чим більше відмінностей між кластерами, тим точніша кластеризація;
- правила асоціації (Association Rules) – виявлення закономірностей між пов'язаними подіями. Прикладом такої закономірності є правило, яке вказує, що з події X впливає подія Y. Такі правила називаються асоціативними. Вперше це завдання було запропоноване для знаходження типових шаблонів покупок, що здійснюються в супермаркетах, тому іноді його ще називають аналізом ринкового кошика (market basket analysis);
- аналіз відхилень або виявлення аномалій (Anomaly Detection) – виявлення найбільш нехарактерних шаблонів (аномалій) у даних [9].

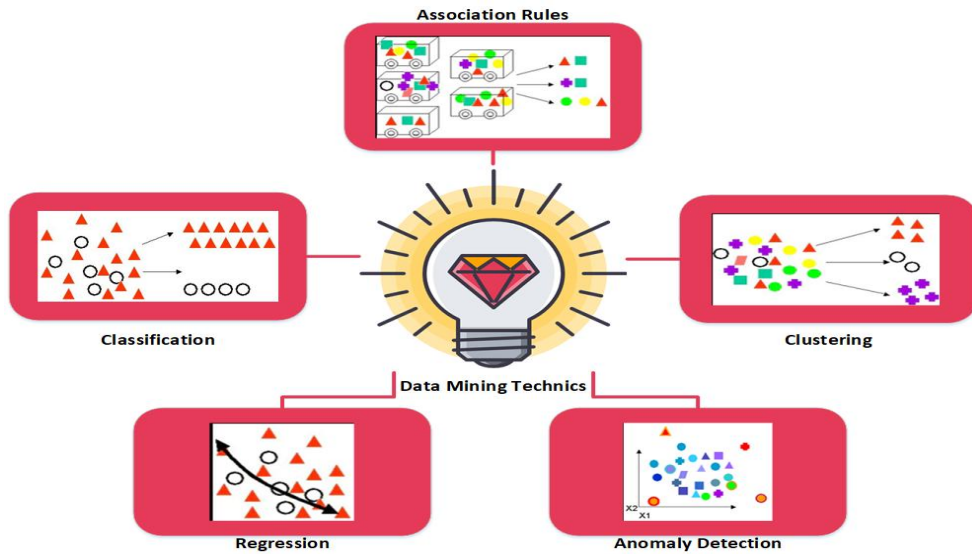


Рис. 1. Техніки Data Mining

Насправді кожен із названих технік можна адаптувати для використання в митній справі. Наприклад, правила асоціації застосувати так, як їх застосовують для аналізу ринкового кошика в супермаркетах. Аналізуючи раніше провезені товари, можна побудувати асоціацію й дізнатись, які товари провозитимуться у майбутньому і з якою вірогідністю цю інформацію можна використовувати для тарифного регулювання та встановлення коректного рівня податків. Класифікацію можна використовувати для зарахування нової операції на кордоні (експорту або імпорту) до одного зі встановлених класів. Скажімо, це може бути клас потенційно шахрайських операцій, безпечних операцій і проміжний клас між першими двома. Приблизно такий сценарій описано в статті “Classification Method for Customs Fraud Detection” [6]. Регресію можна використати для аналізу в часі показників митних зборів. Кластеризація може бути використана для групування декларантів у групи за ступенем ризику. Аналіз відхилень може бути використано для визначення шахрайських операцій – аномалій під час розрахунку суми податку і його сплати, коли така сума може бути скомпрометована. Виявлення подібних записів у базі дає змогу отримати інформацію про декларанта, посадових осіб, які ці операції здійснювали, та категорію товарів. Після цього можна вжити відповідних заходів, виконати дії для запобігання таким махінаціям у майбутньому. Саме цей сценарій розглянемо далі.

Цільовими користувачами запропонованої системи стануть працівники фіскальної служби, які виконують митні формальності. Розроблювана система

---

може зменшити обсяг паперової роботи, а також допомогти виявити порушення, використовуючи сучасні технології інтелектуального аналізу даних.

На діаграмі (рис. 2) зображено варіанти використання розробленої системи для інспектора фіскальної служби. Інспектор, виконуючи митні формальності, вносить інформацію з митної декларації до бази даних, які надалі можуть бути використані для інтелектуального аналізу даних з метою виявлення ризиків і порушень. Також інспектор може використовувати наявну в базі даних інформацію про декларантів, які вже здійснювали митні операції раніше, а також інформацію системи контролю ризиків, отриману в результаті інтелектуального аналізу даних або аналізу з використанням алгоритмів нечіткої логіки (fuzzy logic).

На діаграмі (рис. 3) зображено варіанти використання розробленої системи для аналітика фіскальної служби, який, зі свого боку, може будувати нові моделі інтелектуального аналізу даних, вносити правки в наявні моделі аналізу даних, аналізувати отримані результати, оцінювати ефективність моделей на основі цих результатів, представляти результуючі дані в зручній для подальшого використання формі – виконувати фільтрацію даних, налаштовувати автоматизацію запуску роботи моделей, коли цільовий набір даних для аналізу розширюється з внесенням нової інформації інспекторами, наприклад, аналітик може реалізувати автоматичний запуск моделі на виконання з певною періодичністю, налаштувавши Oracle Scheduler.

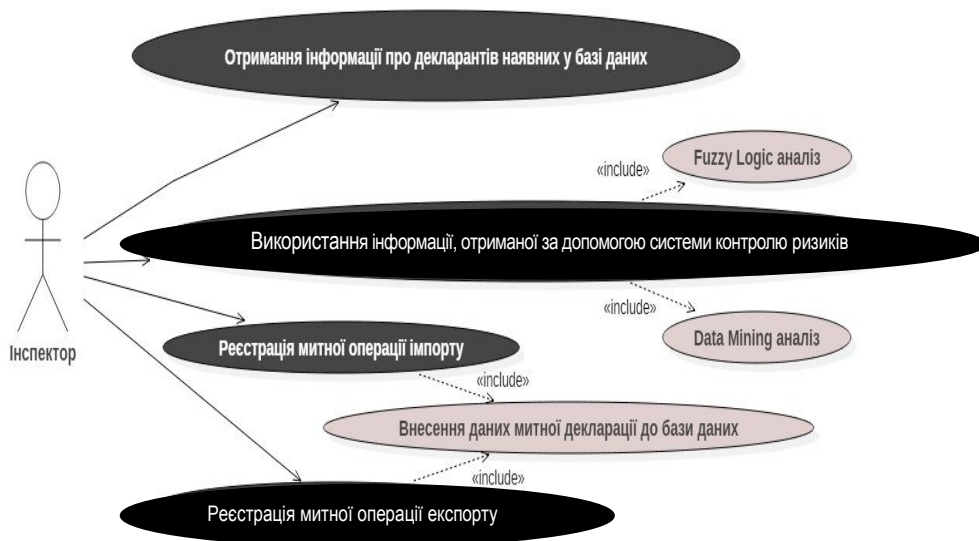


Рис. 2. Діаграма варіантів використання розробленої системи для інспектора фіскальної служби



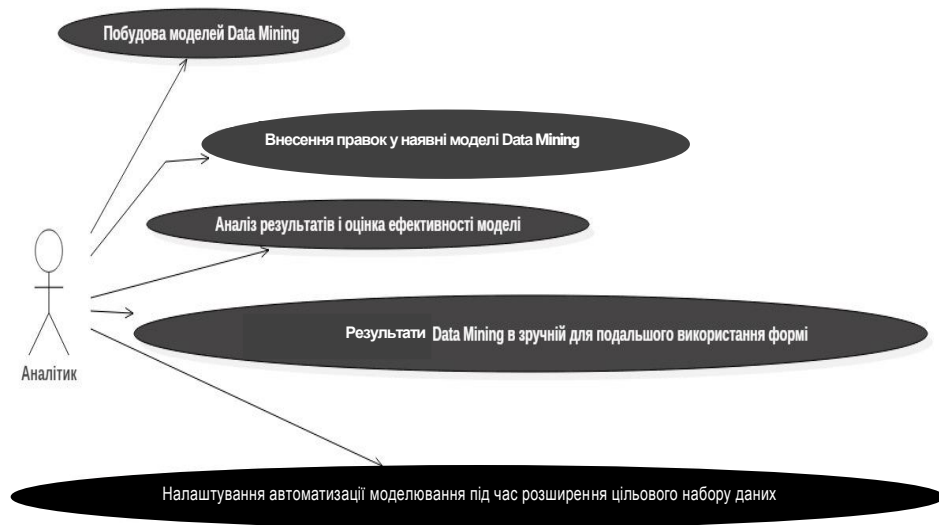


Рис. 3. Діаграма варіантів використання для аналітика фіскальної служби

Скориставшись функціональною моделлю SADT, можна відобразити структуру розроблюваної системи. Схеми в нотації IDEF0 дають змогу відобразити функції, які система дозволяє автоматизувати, зв'язки між ними, а також вхідні параметри, параметри управління, механізми, що впливають на виконання функції, результатами якої є певні вихідні параметри.

На рис. 4 зображено контекстну діаграму оформлення митної процедури, яка описує процес у цілому.

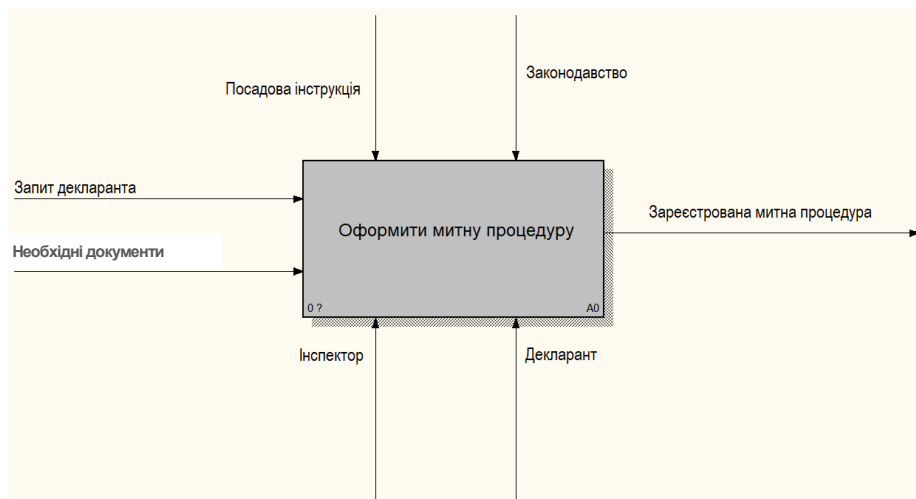


Рис. 4. Контекстна діаграма оформлення митної процедури

На рис. 5 зображено діаграму декомпозиції процесу (рис. 4) для більшої деталізації та чіткості. З метою реалізації процесу оформлення митної процедури виконуються такі функції:

- перевірка декларанта – використовується Єдина автоматизована інформаційна система ДФС і Система контролю ризиками, які включають в себе інструменти й техніки інтелектуального аналізу даних;
- виконання додаткових дій – залежно від результатів перевірки виконуються певні дії для покращання процесу митного оформлення або для запобігання правопорушенням;
- реєстрація митної процедури – оформлення митної декларації, інших необхідних документів, внесення даних до бази, яка є частиною ЄАІС. Внесені дані надалі можуть бути використані для інтелектуального аналізу даних.

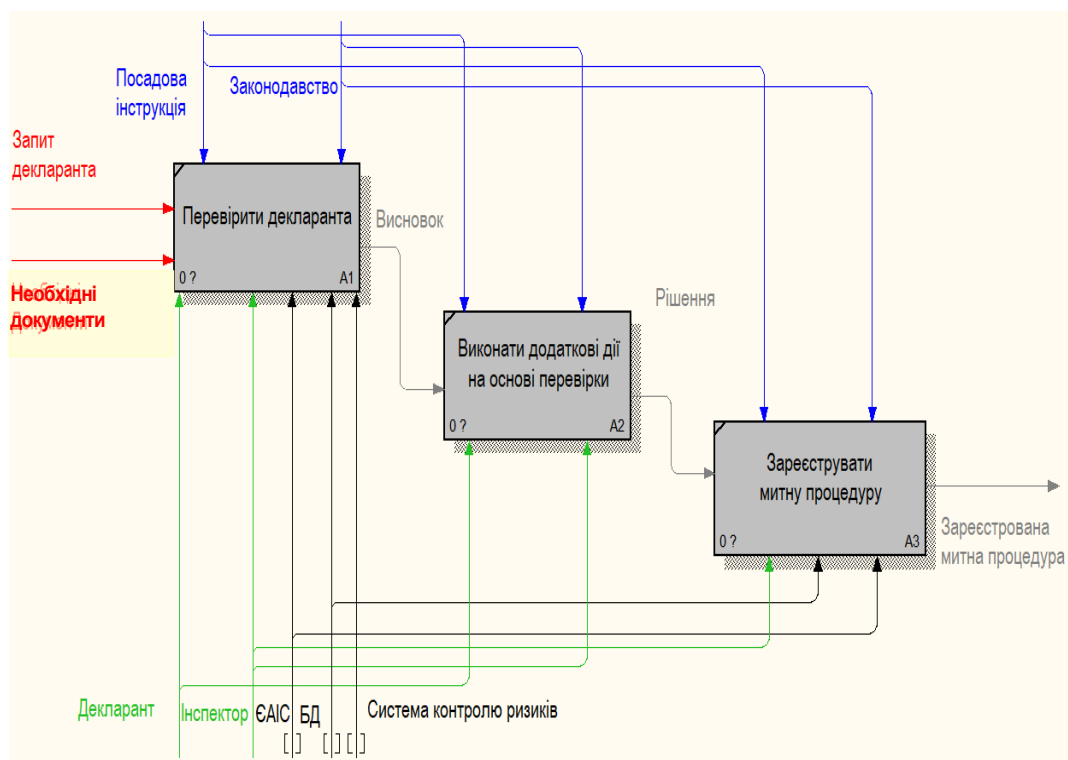


Рис. 5. Декомпозиція A0 процесу оформлення митної процедури

На рис. 6 зображено діаграму Data Flow Diagram (далі – DFD) для функції перевірки декларантів. Вона детально описує вказану функцію і відображає зв'язок виконуваних дій із даними системи.

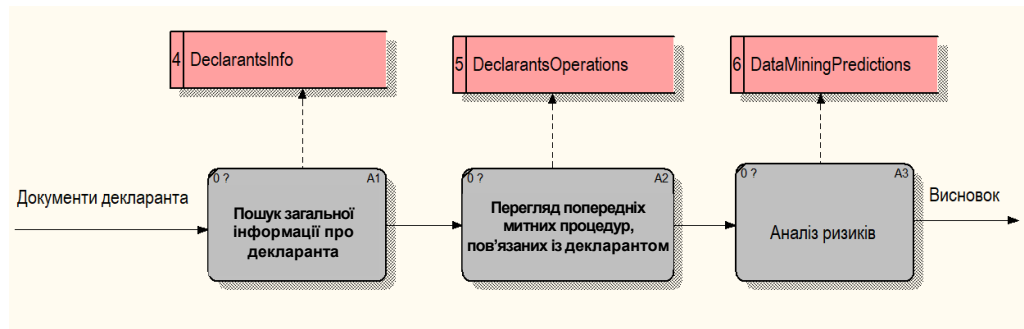


Рис. 6. Діаграма DFD перевірки декларантів

Для демонстрації використання техніки Anomaly Detection було створено невелику базу даних з декількох таблиць. ER-модель зображено на рис. 7.

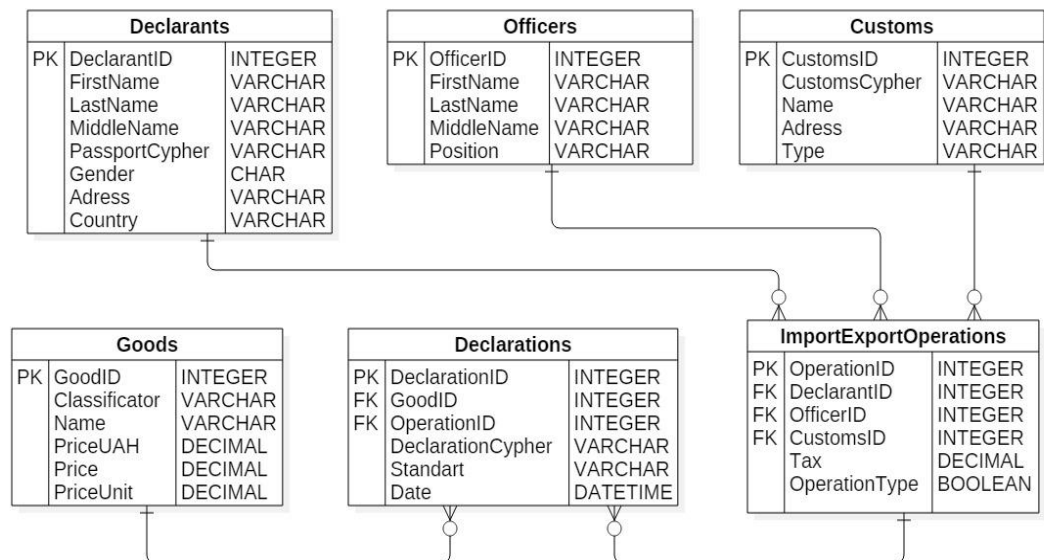


Рис. 7. ER-модель бази даних експортних та імпорتنих операцій виконано за принципом зірки (star schema)

Дані таблиці пов'язані таким чином, що відповідають принципу зірки (star schema), коли в центрі є головна таблиця, з якою пов'язана решта, за допомогою механізму зовнішніх ключів. На рис. 7 зображено шість таблиць:

---

• Import Export Operations – містить дані про операції імпорту та експорту, дані щодо сплати податків. Така таблиця є цільовим джерелом даних для аналізу;

- Declarants – зберігає відомості про декларантів;
- Officers – зберігає відомості про посадових осіб митниці;
- Customs – зберігає інформацію про митні пости України;
- Declarations – містить відомості про всі оформлені декларації;
- Goods – зберігає відомості про товари, зокрема УКТ ЗЕД, ціну товару в іноземній і національній валюті.

Перед використанням Data Mining було створено Data Mining репозиторій. Інформацію на сервері організовано таким чином: одна схема слугує для накопичення даних митниці і зберігає описані на ER-моделі вище таблиці та їх дані, друга схема слугує для маніпуляцій під час інтелектуального аналізу даних і збереження таблиць з результатами прогнозування (рис. 8). Модель використовує цільові дані в одній схемі та зберігає отримані результати (прогнози), а також таблиці з проміжними даними – в іншій схемі. Така архітектура забезпечує стабільну і безпечну роботу без втрати цінних даних.

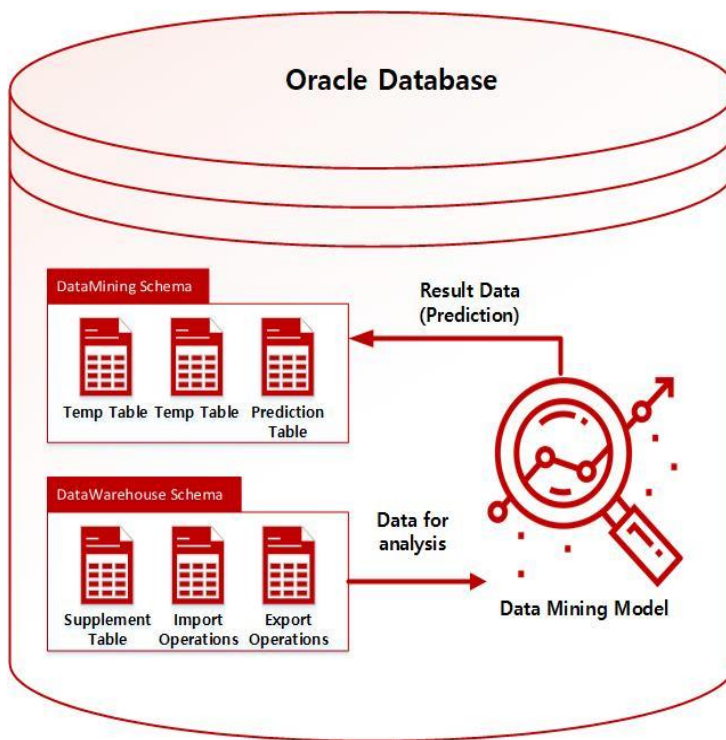


Рис. 8. Структура створеної бази даних

У процесі використання графічного інтерфейсу Oracle Data Miner було створено модель інтелектуального аналізу даних з операцій імпорту (рис. 9).

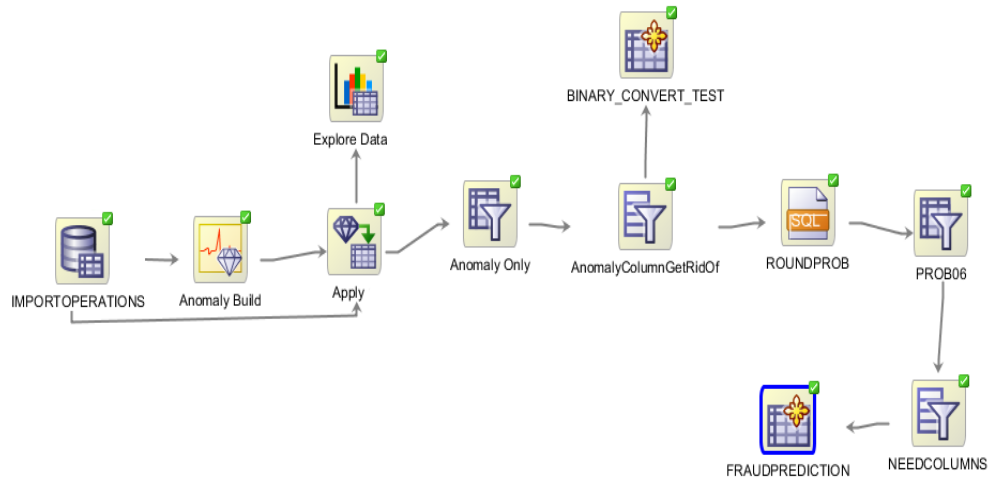


Рис. 9. Виявлення аномалій під час імпортних та експортних операцій

Джерело даних – таблиця з інформацією про дані покупців Import Export Operations. Цільовий атрибут аналізу OperationId – ідентифікатор покупця. Після того як аналіз аномалій виконано, результати аналізу накладаються на дані в таблиці Import Export Operations і, зрештою, отримуємо таблицю, де наведено інформацію про аномальні операції, процентна ймовірність того чи іншого висновку (рис. 10).

Виявити аномальні записи нескладно, найскладнішим і важливим завданням під час аналізу аномалій є встановлення чинника аномалій. Виконавши аналіз даних в результуючій таблиці, було встановлено, що аномалію викликають атрибути, які стосуються суми сплачених податків. Для отримання таблиці, яку можна використовувати для подальшого прийняття рішень, проводиться необхідна фільтрація даних. Так, можна обрати лише аномальні записи, після чого зменшити їхню кількість за процентним показником, який вказує, наскільки аномалія ймовірна в записі. Далі можна обрати необхідну інформацію, пов'язану з аномальними записами, наприклад, контактні дані декларанта, дані про інспектора, який здійснював оформлення, місце й час – таблицю з організованими таким чином даними можна використовувати надалі в роботі фіскальної служби для виявлення ризиків і порушень та проведення відповідних заходів.

ANOM_SVM_1_6_PRED	ANOM_SVM_1_6_PROB	CUST_ID	CUST_STATE_PROVINCE	CUST_LAST_NAME	COUNTRY_ID
261	1 0.5541455367317341	39 676	Maharashtra	Rhodes	52 771
262	1 0.5692326370479609	43 232	Parana	Rhodes	52 775
263	1 0.6108113617840054	25 514	South Africa	Rhodes	52 791
264	1 0.5709694436915912	47 010	England - Greater Manc...	Rhodes	52 789
265	0 0.512745159735057	50 565	Kuala Lumpur	Rhodes	52 769
266	1 0.6028507792024513	4 121	Wroclaw	Rhodes	52 786
267	0 0.5150788637473982	7 677	Andhra Pradesh	Rhodes	52 771
268	1 0.5199066252649458	11 232	Selangor	Rhodes	52 769
269	1 0.5704633666849682	14 788	Krakow	Rhodes	52 786
270	1 0.5326732174194448	18 343	Noord-Holland	Rhodes	52 770
271	1 0.5413924427666915	46 557	England - Norfolk	Rhodes	52 789
272	0 0.5004497541202058	21 898	Friesland	Rhodes	52 770
273	1 0.5191042741326525	25 455	Zuid-Holland	Rhodes	52 770
274	1 0.5389196413469113	29 010	Noord-Holland	Rhodes	52 770
275	1 0.517657796895787	32 565	Zuid-Holland	Rhodes	52 770
276	1 0.5865691757507908	37 010	Kanagawa	Ryan	52 782
277	1 0.5501512948000599	40 565	Santa Catarina	Ryan	52 775
278	1 0.5417402340112204	44 120	Zuid-Holland	Ryan	52 770
279	1 0.5636864059357586	34 403	Victoria	Ryan	52 774
280	1 0.5537763139068412	47 899	Zuid-Holland	Ryan	52 770
281	1 0.536966685649189	1 455	Noord-Holland	Ryan	52 770
282	1 0.5139799695331775	5 010	Selangor	Ryan	52 769
283	1 0.549732960702248	8 565	Rio de Janeiro	Ryan	52 775
284	1 0.5325904745946002	12 122	Gelderland	Ryan	52 770
285	1 0.5511124372937262	15 677	England - Avon	Ryan	52 789
286	1 0.5330667157633009	19 232	Limburg	Ryan	52 770

Рис. 10. Результуючі дані після застосування техніки аномального аналізу (без фільтрації)

Планувальник завдань Oracle допомагає автоматизувати роботу, тепер можна запускати моделі інтелектуального аналізу через установлені проміжки часу й отримувати оновлені дані, коли цільовий набір даних для аналізу розширюється із внесенням нової інформації інспекторами. Діаграму діяльності, що описує даний процес, зображено на рис. 11.



Рис. 11. Діаграма діяльності, автоматизація роботи з моделями Data Mining під час розширення цільового набору даних

Результати інтелектуального аналізу можна використовувати для створення програмних додатків зі зручним інтерфейсом користувача для подальшої обробки отриманих даних та їх візуалізації (рис. 12).

ID	Anomaly %	Name	Last Name	Phone	Email	Postal Code	State Province	City	Address	Birth Year	Gender
1059	0.68	Thayer	Fort	(521) 628-2723	thayer.fort@company2.example.com	57008	Berlin	Berlin	3267 Exchangeable Turnpike	1922	M
944	0.92	Everett	Lovett	(765) 344-1825	everett.lovett@company2.example.com	53574	Flevopolder	Almere	1952 Color Street	1948	M
1066	0.61	Flint	Race	(751) 593-5380	flint.race@company2.example.com	84037	Brandenburg	Cottbus	8166 Chisel Drive	1949	M
900	0.64	Franklin	Lyles	(778) 589-6802	franklin.lyles@company2.example.com	90074	Bremen	Bremen	3545 Meteorite Turnpike	1931	M
268	0.67	Gemaine	Diehl	(555) 496-6819	gemaine.diehl@company2.example.com	40804	Barcelona	Badalona	5300 Curtained Lane	1928	F
1034	0.83	Winfred	Henry	(780) 385-2563	winfred.henry@company2.example.com	47876	Aquitaine	Bordeaux	8131 Reactionaries Lane	1926	M
263	0.61	Winfred	Wensel	(771) 430-2077	winfred.wensel@company2.example.com	49147	Almeria	Almeria	2930 Sequoia Avenue	1966	F
905	0.67	Gordon	Spence	(665) 610-1481	gordon.spence@company2.example.com	53574	Flevopolder	Almere	9567 Donated Boulevard	1932	M
287	0.61	Yvonne	Lauderdale	(207) 348-4062	yvonne.lauderdale@company2.example.com	42859	Drenthe	Assen	4899 Albrecht Boulevard	1923	F
207	0.66	Idette	Forster	(407) 716-9734	idette.forster@company2.example.com	40804	Barcelona	Badalona	2034 Maddest Street	1933	F
461	0.65	Iris	Spooner	(527) 778-3205	iris.spooner@company2.example.com	88512	Dublin	Blackrock	11340 Supematural Boulevard	1954	F
945	0.62	Jason	Barnes	(715) 976-1258	jason.barnes@company2.example.com	39444	North Jutland	Aalborg	1437 Antiquy Street	1928	M
247	0.61	Jocelyn	Jewell	(401) 316-2020	jocelyn.jewell@company2.example.com	35228	Schleswig-Holstein	Bad Schwartau	782 Enduring Turnpike	1943	F
752	0.67	Joel	Mane	(532) 766-4741	joel.mane@company2.example.com	73071	Kerala	Alleppey	3046 Twigs Street	1926	M
1113	0.62	Keenan	Day	(455) 410-1127	keenan.day@company2.example.com	30568	Nordrhein-Westfalen	Aschen	8472 Barrack Boulevard	1930	M
931	0.61	Kelby	Krebs	(371) 646-9050	kelby.krebs@company2.example.com	36598	Cork	Baltimore	5028 Hermann Street	1957	M
150	0.61	Leah	Snodgrass	(628) 622-7305	leah.snodgrass@company2.example.com	34646	Girona	Girona	9899 Stockpile Street	1930	F
173	0.68	Lisette	Whitehead	(423) 210-1800	lisette.whitehead@company2.example.com	35559	Australian Capital Territory	Canberra	8783 Specifically Street	1930	F

Рис. 12. Приклад використання отриманих прогнозів у програмних додатках

---

Структуру такого додатка зображено на рис. 13. Ця архітектура відповідає сучасним тенденціям у розробці програмного забезпечення. Програмний додаток складається з трьох основних рівнів:

- Presentation Layer – рівень інтерфейсу користувача;
- Business Logic Layer – рівень, у якому міститься основна логіка додатка;
- Data Layer – рівень, у якому міститься логіка взаємодії з базою даних на програмному рівні.

Object-Relational Mapping (ORM) – засіб Entity Framework, слугує для взаємодії моделей таблиць у додатку з таблицями, що зберігаються в базі даних.

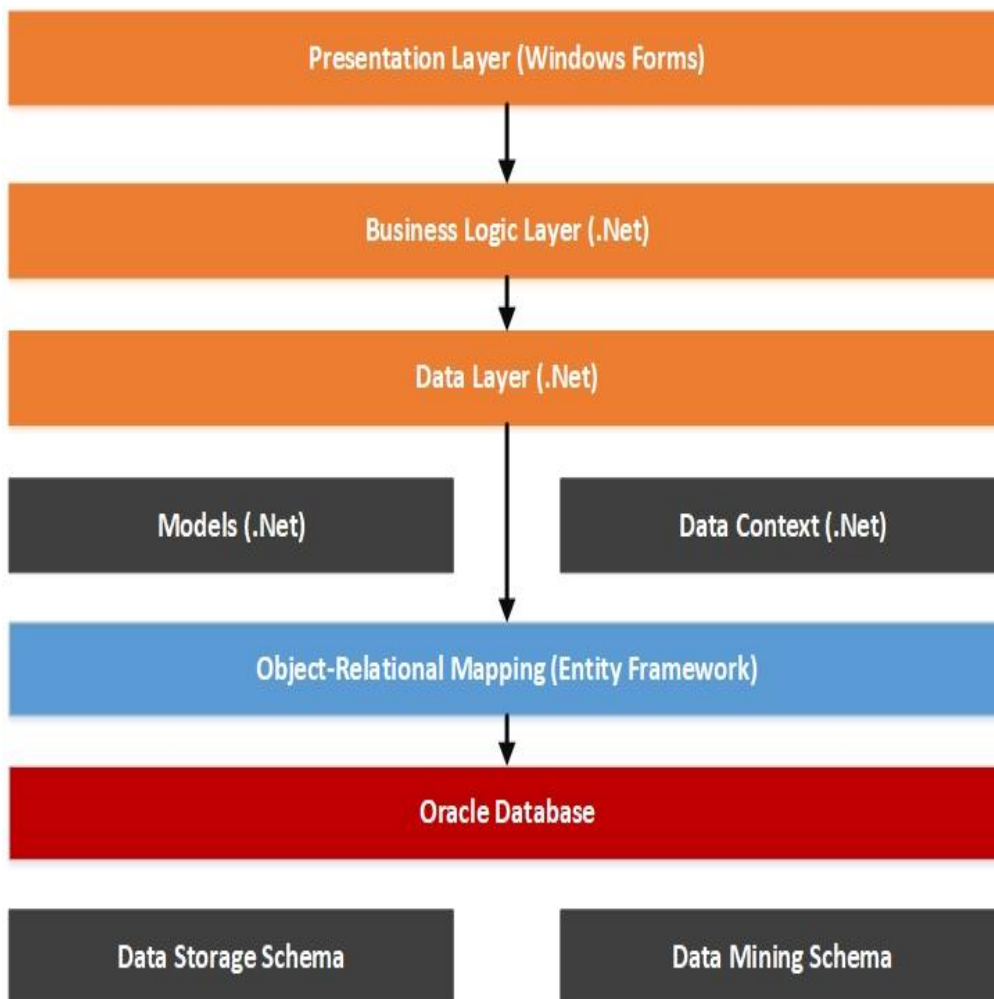


Рис. 13. Тривінева архітектура програмного додатка



---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У статті проаналізовано й досліджено:

- останні тенденції розвитку інформаційних технологій для інтелектуального аналізу даних;
- структуру, особливості та можливості реалізації даної технології в СУБД Oracle;
- популярність використання засобів інтелектуального аналізу підприємствами, державними установами та іншими організаціями;
- тенденції щодо запровадження використання даної технології в митній справі, а саме для вдосконалення роботи системи контролю ризиків.

У зв'язку з цим набула подальшого розвитку можливість використання технології Data Mining в митних підрозділах фіскальної служби України для аналізу операцій експорту та імпорту з метою виявлення потенційно шахрайської діяльності. Результати цього дослідження можуть бути використані для подальших досліджень і розробок, а також для запровадження використання технології митницями України, розширення можливостей АСАУР.

#### **Список використаних джерел:**

1. Top 33 Data Mining software. URL: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-data-mining-software>
2. 50 top free data mining software. URL: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-free-data-mining-software/#>
3. Tierney B. Predictive Analytics Using Oracle Data Miner: Develop & Use Data Mining Models in Oracle Data Miner, SQL & PL/SQL: Oracle Press, 2014. 429 p.
4. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories. URL: <https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html>
5. Geourjon A.-M., Laporte B., Coundoul O., Gadiaga M. Inspecting less to inspect better: The use of data mining for risk management by customs administrations measurement Applied to Customs and Tax Administrations in Developing Countries ed. by T. Cantens, R. Ireland and G. Raballand. Washington, DC: World Bank, 2012. November.
6. A Novel Unsupervised Classification Method for Customs Fraud Detection / Habibollah R. R., Saeed A., Rahbar F., Ruhollah Rahmani and oth. // Indian Journal of science and Technology. 2015. Vol. 8(35). DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i35/87306
7. В ДФС функціонує сучасна автоматизована система митного контролю та оформлення. URL: <http://zp.sfs.gov.ua/media-ark/news-ark/print-249074.html>

---

8. Електронна митниця. URL: [https://www.mdoffice.com.ua/pdf/\\_jeais\\_dfs\\_1602281713.pdf](https://www.mdoffice.com.ua/pdf/_jeais_dfs_1602281713.pdf)

9. *Марченко О. О., Россада Т. В.* Актуальні проблеми Data Mining: навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017. 150 с.

#### References:

1. Top 33 Data Mining software, available at: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-data-mining-software>

2. 50 top free data mining software, available at: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-free-data-mining-software/#>

3. Tierney Brendan (2014), Predictive Analytics Using Oracle Data Miner: Develop & Use Data Mining Models in Oracle Data Miner, SQL & PL/SQL: Oracle Press, 429 p.

4. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories, available at: <https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html>

5. Geourjon A.-M., Laporte B., Coundoul O. and Gadiaga M. (2012), Inspecting less to inspect better : the use of data mining for risk management by customs administrations, in Reform by numbers : Measurement Applied to Customs and Tax Administrations in Developing Countries / ed. by T. Cantens, R. Ireland and G. Raballand. Washington, DC: World Bank, November.

6. *Habibollah Arasteh Rad\**, *Arash Saeed*, *Rahbar Farhad*, *Ruhollah Rahmani et al.* A Novel Unsupervised Classification Method for Customs Fraud Detection // Indian Journal of science and technology. 2015. №8(35). DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i35/87306

7. V DFS funkcionuye suchasna avtomatyzovana systema mytnoho kontrolyu ta oformlennya [The State Customs Service has a modern automated customs control and clearance system], available at: <http://zp.sfs.gov.ua/media-ark/news-ark/print-249074.html>

8. Elektronna mytnytsya [Electronic Customs], available at: [https://www.mdoffice.com.ua/pdf/\\_jeais\\_dfs\\_\\_1602281713.pdf](https://www.mdoffice.com.ua/pdf/_jeais_dfs__1602281713.pdf)

9. Marchenko O. O. and Rossada T. V. (2017), Aktual'ni problemy Data Mining: navchal'nyy posibnyk dlya studentiv fakul'tetu komp'yuternykh nauk ta kibernetiky [Current issues of Data Mining], Tutorial for students of the faculty of computer science and cybernetics, Kyiv, 150 p.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-3>  
УДК 629.7.014:519.854.33

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

**МАРШРУТИЗАЦІЯ ПОЛЬОТУ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА  
З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВІТРЯНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СЕРВІСНОЇ  
СТАНЦІЇ ПІД ЧАС МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ  
ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОГО ОБ'ЄКТА**

*Розроблено підхід до визначення оптимальної маршрутизації польоту мультироторного БПЛА з використанням повітряної автоматичної сервісної станції (ПАСС). Наведено приклад застосування запропонованого підходу для організації моніторингу 11 постів контролю Запорізької АЕС. Розраховано шляхом розв'язання задачі комівояжера та позначено на карті найкоротший маршрут обльоту БПЛА заданих точок моніторингу. Визначено місця заміни батарей та маршрут руху до цих місць ПАСС. Складено спільний графік руху за маршрутом БПЛА та ПАСС, а також окремий графік руху ПАСС.*

*Ключові слова: мультироторний безпілотний літальний апарат; повітряна автоматична сервісна станція; моніторинг; потенційно небезпечний об'єкт; задача комівояжера.*

*Разработан подход по определению оптимальной маршрутизации полета мультироторного БПЛА с использованием воздушной автоматической сервисной станции (ВАСС). Приведен пример применения предложенного подхода для организации мониторинга 11 постов контроля Запорожской АЭС. Рассчитан путем решения задачи коммивояжера и обозначен на карте кратчайший маршрут облета БПЛА заданных точек мониторинга. Определены места замены батарей и маршрут движения к этим местам ВАСС. Составлен совместный график движения по маршруту БПЛА и ВАСС, а также отдельный график движения ВАСС.*

*Ключевые слова: мультироторный беспилотный летательный аппарат; воздушная автоматическая сервисная станция; мониторинг; потенциально опасный объект; задача коммивояжера.*

© Г. В. Фесенко, 2019

---

*Multi-rotor UAVs have advantages over other UAVs because of their capability of hovering, which is essential to guarantee more accuracy of the given parameters measurement when performing monitoring missions. However, such UAVs have low battery life and should be able to replace or recharge their batteries on the route. The paper is devoted to the development of an approach to determine the optimal routing of a multi-rotor UAV, which uses an airborne automatic service station (AASS) for its batteries replacement. On the basis of the analysis of the peculiarities of the use of automatic service stations, a faceted classification one of their types – automatic energy recovery stations – was proposed. The following classification features were used: principle of operation, method of replenishment of energy, method of recharging, type of basing, type of construction, number of places for simultaneous UAV service. The example of application of the proposed approach for monitoring of 11 control posts of Zaporizhzhia NPP is given. The DJI Mavic 2 Enterprise Dual UAV, which travels at a speed of 40 km/h and has a battery life of 31 minutes, was selected for the monitoring mission. The AASS based on the SL-231 Scout helicopter, which travels at 100 km/h and is capable of operating in unmanned mode, was used to replace the UAV batteries on the route. The following results were obtained: the shortest flight route to visit all the specified monitoring points calculated by solving the traveling salesman problem and indicated on the map; a compatible UAV and AASS route schedule; a separate AASS route schedule. The total time of the UAV monitoring mission and the total time of the AASS mission to ensure the replacement of the UAV batteries were calculated. The proposed approach and the software developed for its implementation can be used by ground control station operators to develop optimal routes for the joint use of UAVs and AASS while monitoring the specified points of potentially dangerous objects. Further studies should include options for monitoring the specified points of potentially dangerous objects by UAV and AASS fleets for reducing the overall monitoring mission time.*

**Key words:** *multi-rotor unmanned aerial vehicle; airborne automatic service station; monitoring; potentially dangerous object; traveling salesman problem.*

**Постановка проблеми.** Останнім часом безпілотні літальні апарати (далі – БПЛА) все частіше розглядаються як ефективний інструмент до- та післяаварійного моніторингу атомних електростанцій (далі – АЕС), інших потенційно небезпечних об’єктів (далі – ПНО). Різноманіття завдань, до виконання яких залучаються БПЛА, варіюється від радіаційних вимірювань та складання карт радіоактивності до створення багатOVERСІЙНОЇ системи післяаварійного моніторингу, яка базується на технології інтернета дронів (Internet-of-Drones) [1–5].

Ряд таких завдань передбачає обліт заданих точок території ПНО, наприклад постів контролю (далі – ПК) автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (далі – АСКРО) АЕС [6], з якими втрачено радіо- та дотовий зв’язок. Метою обльоту в цьому випадку може бути:

– установлення ступеня пошкоджень постів для розрахунку сил і засобів щодо їх відновлення;

---

– визначення потужності дози гамма-випромінювання в місцях їхнього розташування для розрахунку часу ослаблення радіаційного фону до рівня, необхідного для безпечного проведення аварійно-відновлювальних робіт;

– зчитування інформації, накопиченої постами до моменту втрати з ними зв'язку з метою її подальшої передачі у кризовий центр.

Дуже часто для обльоту заданих точок застосовуються БПЛА мультироторного типу, оскільки порівняно з БПЛА літакового типу вони мають такі переваги:

– можуть зависати над заданою точкою, забезпечуючи якісніше знімання інформації та моніторинг об'єкта контролю;

– не потребують обладнаного спеціального майданчика для злету-посадки, а також застосування спеціальних засобів пуску (катапульт) і посадки (парашутів).

Утім БПЛА мультироторного типу мають, як правило, менший час тривалого польоту порівняно з БПЛА літакового типу, а отже, часто потребують підзарядки (заміни) батареї під час виконання польотного завдання. Така підзарядка (заміна) може бути здійснена двома основними способами:

1) на стартовій позиції, куди БПЛА повинен повернутися;

2) на визначеній точці маршруту за допомогою автоматичної сервісної станції (далі – АСС).

Перший спосіб унеможливує обліт усього переліку зазначених точок без відхилення від маршруту і потребує значної перерви у виконанні польотного завдання, тоді як другий спосіб дозволяє повністю дотримуватися визначеного маршруту, роблячи невеличкі перерви (близько 2 хв) для підзарядки (заміни) батареї на АСС.

Отже, другий спосіб заміни (підзарядки) батареї більш конкурентний і забезпечить виконання польотного завдання за коротший час.

Крім того, наявність АСС на визначеному місці підзарядки (заміни) батареї дозволяє за потреби забезпечити додатково поточний ремонт БПЛА або заміну БПЛА на новий, а в разі розташування АСС на рухомому транспортному засобі – ще й евакуацію БПЛА.

Таким чином, актуальним є завдання оптимальної маршрутизації польоту мультироторного БПЛА з використанням АСС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дуже детально АСС розглянуто у [7]. Автори приділили значну увагу автоматичним енерговідновлювальним станціям (далі – АЕВС), які є реалізаціями АСС, що не передбачають інших сервісних функцій, крім поновлення енергії живлення силової установки БПЛА.

Базуючись на даних [7], з метою формалізації опису моделей розв'язання задач маршрутизації пропонується фасетна класифікація АЕВС для БПЛА з електричною силовою установкою (табл. 1).

## Фасетна класифікація АЕВС як реалізації АСС

№	Код фасета	Розділ фасета	Опис
1	2	3	4
1	A		<b>Класифікація за принципом функціонування</b>
		1	Автоматичні зарядні станції (АЗС) – станції для автоматичної підзарядки бортових акумуляторних батарей без зняття їх з БПЛА
		2	Автоматичні обмінні станції (АОС) – станції для автоматичної заміни відпрацьованих бортових батарей, що не перезаряджаються, або паливних картриджів (балонів) на нові
		3	Автоматичні обмінно-зарядні станції (АОЗС) – станції для автоматичної швидкої заміни бортових батарей, що перезаряджаються, з їх подальшою зарядкою
2	B		<b>Класифікація за способом поповнення енергії</b>
		1	Заміна батарей
		2	Підзарядка батарей
3	C		<b>Класифікація за способом підзарядки</b>
		1	Контактні з роз'ємними з'єднувачами
		2	Контактні з відкритими контактами
		3	Безконтактні зі зв'язаними коливальними контурами
		4	Безконтактні з ємнісним зв'язком
		5	Безконтактні із живленням від ліній електропередач
4	D		<b>Класифікація за типом базування</b>
		1	Стаціонарні
		2	Мобільні
		3	Такі, що розгортаються
5	E		<b>Класифікація за типом конструкції</b>
		1	Відкрита платформа
		2	Закрита конструкція
		3	Окремий термінал
6	F		<b>Класифікація за кількістю місць для одночасного обслуговування БПЛА</b>
		1	Одномісні
		2	Багатомісні

---

Роботи щодо розв'язання проблеми маршрутизації БПЛА з обмеженою кількістю заряду батареї (палива) можна поділити на дві основні групи:

- 1) роботи, де розглядається використання стаціонарних АСС [8; 9];
- 2) роботи, де розглядається використання як стаціонарних, так і рухомих АСС [10–12].

У статті [8] запропоновано визначити маршрут обльоту одним БПЛА всіх установлених для нього цілей, щоб відвідати якнайменше наземних місць дозаправлення з найменшими витратами палива.

Автори [9] пропонують підхід до визначення мінімальної кількості БПЛА, які, потребуючи періодичного повернення на станцію підзарядки, забезпечили б безперервну роботу бездротової мережі та дистанційний моніторинг місць руйнувань під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У праці [10] автори розробили й порівняли підходи до змішаного цілечислового програмування та динамічного програмування для розв'язання проблеми маршрутизації літального апарата зі встановленою ємністю пального та підмножиною точок, в яких повітряне судно можна поповнити паливом у повітрі. Обидва підходи передбачали мінімізацію зваженої комбінації пройденої відстані та кількості необхідних операцій, що стосуються заправки.

У [11] авторами запропоновано стратегію на основі скупого алгоритму для організації взаємодії мобільної зарядної станції на базі безпілотного наземного транспортного засобу, стаціонарних постів підзарядки батарей і БПЛА з метою успішного виконання завдань на заданому маршруті. Для тестування та підтвердження своєї стратегії автори наводять результати як застосування імітаційної моделі в Matlab, так і польових експериментів із використанням БПЛА мультироторного типу (квадрокоптера).

Праця [12] значно розширює можливості стратегії, запропонованої в [11], оскільки пропонує підхід з використанням декількох безпілотних наземних транспортних засобів із розміщеними на них АСС.

Однак запропоновані стратегії передбачають підзарядку (заправку паливом) або на стаціонарних постах, або за допомогою наземного транспортного засобу. Пропонуємо використовувати мобільну повітряну АСС (ПАСС) на базі вертольота, що може застосовуватись як у пілотованому, так і безпілотному режимах (у разі перевищення допустимого рівня радіоактивного забруднення навколишнього середовища).

**Мета статті** – розробка підходу до визначення оптимальної маршрутизації польоту мультироторного БПЛА з використанням повітряної автоматичної сервісної станції.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо таку задачу.

Задано:

1. 11 точок моніторингу (обльоту), якими виступають 11 ПК АСКРО Запорізької АЕС (на рис. 1 позначені значком радіації та вказані їхні фактичні найменування відповідно до [6]).

2. Стартова позиція для БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Dual мультиро-торного типу (рис. 1) позначена значком БПЛА та написом “СП1”).

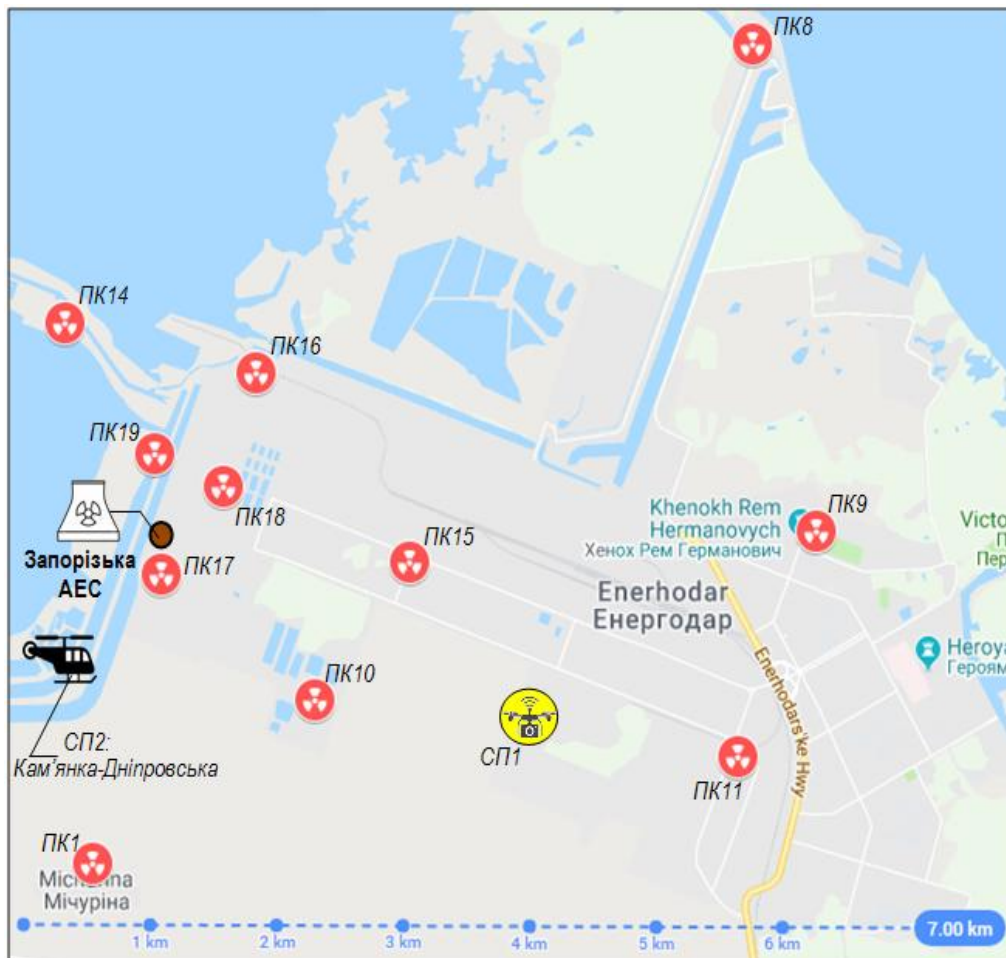


Рис. 1. Точки моніторингу (пости контролю АСКРО Запорізької АЕС) та стартові позиції БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Dual і ПАСС на базі вертольота SL-231 Scout

3. Стартова позиція (СП2) для ПАСС на базі вертольота SL-231 Scout (являє собою АЕВС з кодом А3-В1-С2-Д2-Е2-Ф1 відповідно до фасетної класифікації, поданої в табл. 1), яка розташована у населеному пункті Кам'янка-Дніпровська (на рис. 1 сама СП2 не показана, але разом зі значком “Вертоліт” зазначено її місце розташування за допомогою напису: “СП2: Кам'янка-Дніпровська”).

4. Матриця відстаней між точками маршруту (табл. 2).



Матриця відстаней між точками маршруту, км

Точки	СП1	ПК8	ПК14	ПК16	ПК19	ПК18	ПК15	ПК9	ПК17	ПК10	ПК11	ПК1
СП1	0	5,35	4,69	3,36	3,53	2,94	1,48	2,68	3,06	1,69	1,7	3,59
ПК8	5,35	0	5,85	4,89	5,64	5,34	4,75	3,68	6,16	6,03	5,35	8,07
ПК14	4,69	5,85	0	1,49	1,25	3,77	3,27	6,17	2,05	3,48	6,24	4,04
ПК16	3,36	4,89	1,49	0	0,79	0,71	1,88	6,16	4,48	2,41	4,82	3,7
ПК19	3,53	5,64	1,25	0,79	0	0,56	2,21	5,24	0,91	2,3	5,16	3,12
ПК18	2,94	5,34	3,77	0,71	0,56	0	1,59	4,71	0,85	1,79	4,54	3,03
ПК15	1,48	4,75	3,27	1,88	2,21	1,59	0	3,25	1,96	1,27	2,99	3,39
ПК9	2,68	3,68	6,17	6,16	5,24	4,71	3,25	0	5,23	4,15	1,83	6,26
ПК17	3,06	6,16	2,05	4,48	0,91	0,85	1,96	5,23	0	1,56	4,76	2,27
ПК10	1,69	6,03	3,48	2,41	2,3	1,79	1,27	4,15	1,56	0	3,39	2,16
ПК11	1,7	5,35	6,24	4,82	5,16	4,54	2,99	1,83	4,76	3,39	0	5,17
ПК1	3,59	8,07	4,04	3,7	3,12	3,03	3,39	6,26	2,27	2,16	5,17	0

5. Значення інших параметрів, необхідних для проведення подальших розрахунків (табл. 3).

Таблиця 3

Параметри, необхідні для проведення розрахунків

Назва параметра, його позначення та розмірність	Значення параметра
Час відбуття БПЛА і СП1 (точки 1) $T_{e(1)}^{БПЛА}$ (год/хв)	11:00
Тривалість моніторингу $t_m$ , (хв)	3
Тривалість заміни батареї $t_{зб}$ , (хв)	2
Швидкість БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Dual $V_{БПЛА}$ , км/год	40
Швидкість ПАСС на базі вертольота SL-231 Scout $V_{ПАСС}$ , км/год	100
Ресурс батареї БПЛА в момент вильоту і СП1 (точки 1) $t_{прб(1)}^{БПЛА}$ , хв	31

Необхідно:

1. Визначити і позначити на карті найкоротший маршрут обльоту БПЛА заданих точок моніторингу з початковою/кінцевою точкою маршруту на СП1.

2. Визначити і позначити на карті місця заміни батарей (далі – МЗБ) з використанням ПАСС.

3. Визначити і позначити на карті маршрут руху ПАСС з початковою/кінцевою точкою маршруту на СП2.

4. Скласти матрицю відстаней між СП2 та визначеними МЗБ.

5. Скласти спільний графік руху за маршрутом БПЛА та ПАСС та окремий графік руху для ПАСС.

6. Визначити загальний час руху за маршрутом БПЛА.

7. Визначити загальний час руху за маршрутом ПАСС.

Приймемо такі припущення та обмеження.

1. Найкоротший маршрут обльоту заданих точок визначається шляхом розв'язання задачі комівояжера методом узагальненого наведеного градієнта.

2. Місця для заміни батареї обладнуються виключно на точках моніторингу (постах контролю).

3. Батарея замінюється тільки після виконання БПЛА моніторингу поточної точки маршруту.

4. Алгоритм визначення місць заміни батареї показано на рис. 2:

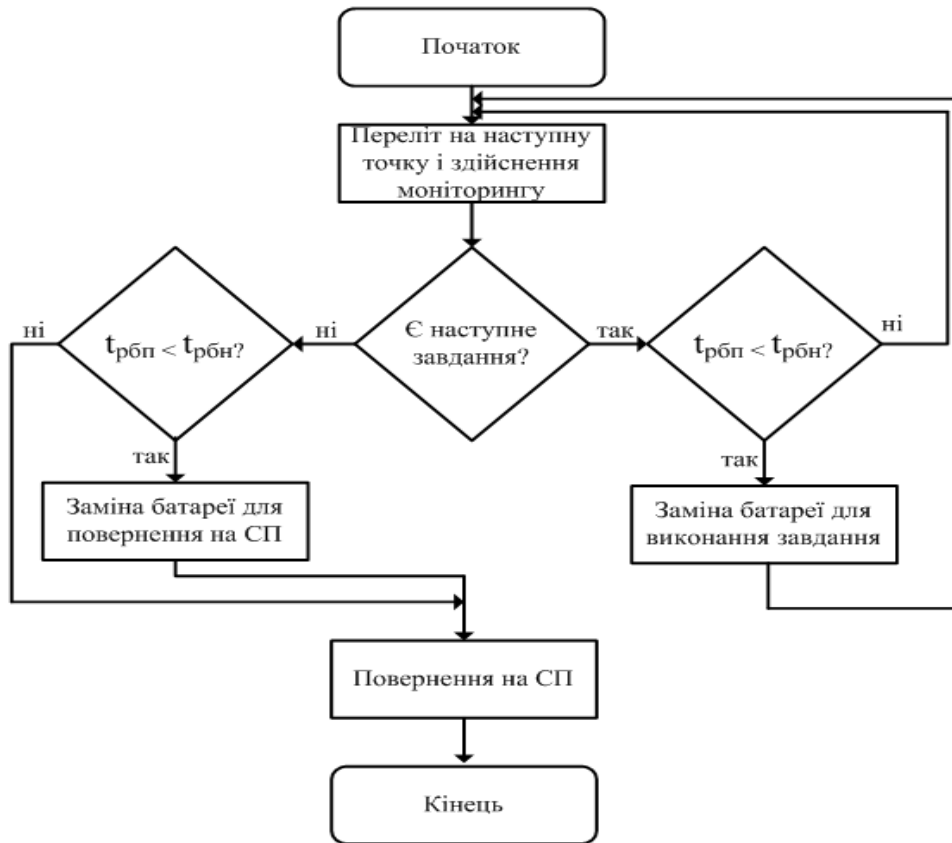


Рис. 2. Алгоритм визначення місць заміни батареї

де  $t_{р\text{обн}}$  – поточний часовий ресурс батареї в момент закінчення моніторингу поточної точки, хв;

$t_{р\text{бн}}$  – часовий ресурс батареї, необхідний для перельоту до іншої точки маршруту і здійснення її моніторингу або для повернення на СП1, хв.

5. ПАСС повинна прибувати до потрібної точки, тобто МЗБ, щонайменше за 2 хв до закінчення виконання БПЛА її моніторингу.

6. ПАСС повинна залишати точку, що є МЗБ, через 2 хв після вильоту БПЛА з неї.

7. Після виконання всіх завдань БПЛА та ПАСС повинні повернутися на свої стартові позиції (СП1 та СП2 відповідно).

Наведемо та проаналізуємо результати розрахунків.

1. Найкоротший маршрут обльоту заданих точок моніторингу (пронумеровані у порядку їх проходження) з початковою/кінцевою точкою маршруту БПЛА на СП1 зображено на рис. 3 пунктирними стрілками.

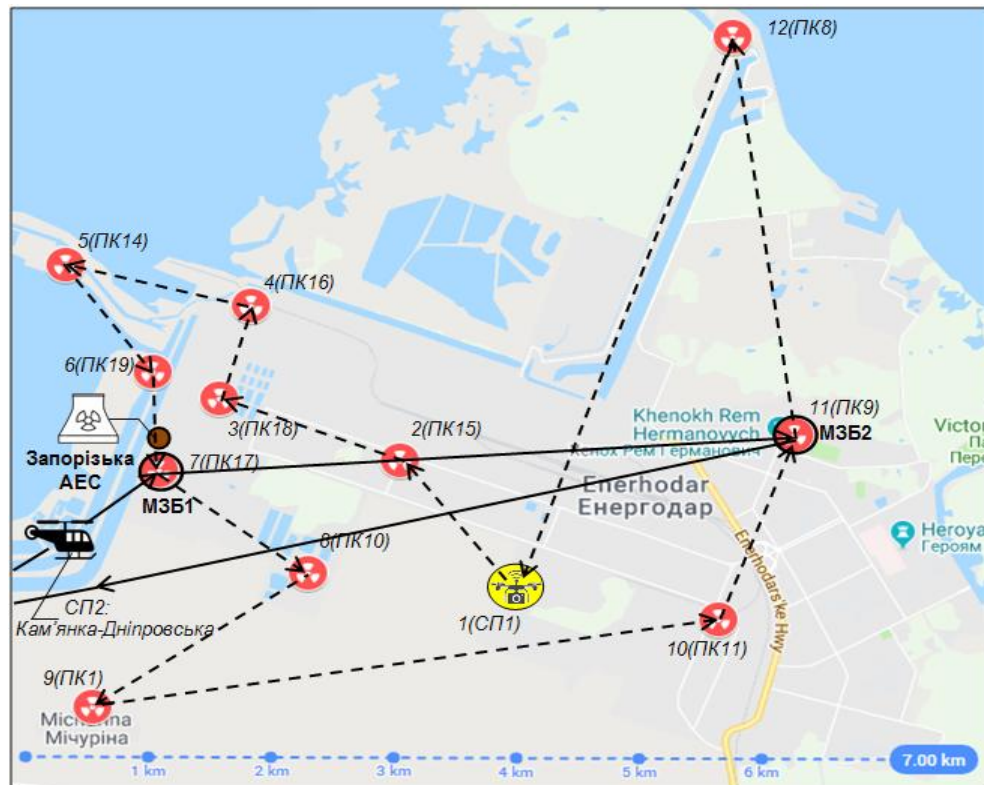


Рис. 3. Найкоротший маршрут обльоту БПЛА заданих точок моніторингу з початковою/кінцевою точкою маршруту на СП1, місця заміни батарей та маршрут руху ПАСС

2. Місця заміни батарей, що визначені згідно із запропонованим алгоритмом (рис. 2), позначені на рис. 3 значком радіації, обведеним суцільною лінією, та підписані “МЗБ” з відповідним номером.

3. Маршрут руху ПАСС із початковою/кінцевою точкою маршруту на СП2 зображено на рис. 3 суцільними стрілками.

4. Матрицю відстаней між СП2 та визначеними МЗБ подано в табл. 4.

Таблиця 4

**Матриця відстаней між СП2 та визначеними МЗБ, км**

Точки	МЗБ1	МЗБ2
СП2	14,7	18,8

5. Спільний графік руху за маршрутом БПЛА та ПАСС подано у вигляді табл. 5, а окремий графік для ПАСС – у табл. 6.

Таблиця 5

**Спільний графік руху за маршрутом БПЛА та ПАСС**

№ точки (i)	Літальний апарат	$T_{n(i)}^{БПЛА}$ ( $T_{n(i)}^{ПАСС}$ ), год/хв	$t_m$ , хв	$t_{зб}$ , хв	$t_{\Sigma(i)}^{БПЛА}$ ( $t_{\Sigma(i)}^{ПАСС}$ ), хв	$T_{e(i)}^{БПЛА}$ ( $T_{e(i)}^{ПАСС}$ ), год/хв	$t_{нрб(1)}$ , хв
1(СП1)	БПЛА	–	–	–	–	11:00	31
2(ПК15)	БПЛА	11:02	3	0	3	11:05	26
3(ПК18)	БПЛА	11:7	3	0	3	11:10	21
4(ПК16)	БПЛА	11:11	3	0	3	11:14	17
5(ПК14)	БПЛА	11:16	3	0	3	11:19	12
6(ПК19)	БПЛА	11:21	3	0	3	11:24	7
7(ПК17) (МЗБ1)	БПЛА	11:25	3	2	5	11:30	3→31
	ПАСС	11:26	–	–	6	11:32	–
8(ПК10)	БПЛА	11:33	3	0	3	11:35	26
9(ПК1)	БПЛА	11:38	3	0	3	11:41	20
10(ПК11)	БПЛА	11:49	3	0	3	11:52	9
11(ПК9) (МЗБ2)	БПЛА	11:55	3	2	5	12:00	3→31
	ПАСС	11:35	–	–	27	12:02	–
12(ПК8)	БПЛА	12:06	3	0	3	12:09	22
1(СП1)	БПЛА	12:17	–	–	–	–	14

## Окремий графік для ПАСС

Точка маршруту	Літальний апарат	$T_{n(МЗБj)}^{ПАСС}$ ( $T_{n(СП2)}^{ПАСС}$ ), год/хв	$t_{\Sigma(МЗБj)}^{ПАСС}$ , хв	$T_{\epsilon(СП2)}^{ПАСС}$ ( $T_{\epsilon(МЗБj)}^{ПАСС}$ ), год/хв
СП2	ПАСС	–	–	11:17
7 (МЗБ1)	ПАСС	11:26	6	11:32
11 (МЗБ2)	ПАСС	11:35	27	12:02
СП2	ПАСС	12:13	–	–

Для розрахунку параметрів, поданих у табл. 5 та 6, було використано формули (1–11), які наведено нижче.

5.1. Фактичний час прибуття БПЛА у точку маршруту  $i+1$  ( $i = 1, \dots, n$ ;  $n$  – кількість точок моніторингу (постів контролю); у нашому випадку  $n = 11$ ):

$$T_{n(i+1)}^{БПЛА} = T_{\epsilon(i)}^{БПЛА} + \frac{R_{i,i+1}}{v_{БПЛА}} \text{ (хв)}, \quad (1)$$

де  $R_{i,i+1}$  – відстань між точками маршруту  $i$  та  $i+1$ , визначена за табл. 2.

5.2. Фактичний час вильоту ПАСС з СП2:

$$T_{\epsilon(СП2)}^{ПАСС} = T_{n(МЗБ1)}^{БПЛА} + t_m - 2 - 60 \frac{R_{СП2,МЗБ1}}{v_{ПАСС}} \text{ (год/хв)}, \quad (2)$$

де:  $T_{n(МЗБ1)}^{БПЛА} = T_{n(7)}^{БПЛА}$  – фактичний час прибуття БПЛА до МЗБ1 (у точку 7 (ПК17)), розрахований за формулою (1);

$R_{СП2,МЗБ1}$  – відстань між СП2 та МЗБ1, визначена за табл. 4.

5.3. Фактичний час прибуття ПАСС до МЗБ1:

$$T_{n(МЗБ1)}^{ПАСС} = T_{\epsilon(СП2)}^{ПАСС} + 60 \frac{R_{СП2,МЗБ1}}{v_{ПАСС}} \text{ (год/хв)}. \quad (3)$$

5.4. Тривалість перебування ПАСС на МЗБ $j$  ( $j=1, \dots, k$ ;  $k$  – кількість МЗБ; у нашому випадку  $k = 2$ ):

$$t_{\Sigma(MZBj)}^{ПАСС} = t_m + t_{зб} + 4 \text{ (хв)}. \quad (4)$$

5.5. Фактичний час вильоту ПАСС з МЗБ $j$

$$T_{в(MZBj)}^{ПАСС} = T_{n(MZBj)}^{ПАСС} + t_{\Sigma}^{ПАСС} \text{ (хв)}. \quad (5)$$

5.6. Фактичний час прибуття ПАСС до МЗБ( $j+1$ ):

$$T_{n(MZB(j+1))}^{ПАСС} = T_{в(MZBj)}^{ПАСС} + 60 \frac{R_{MZBj, MZB(j+1)}}{v_{ПАСС}} \text{ (ГОД/ХВ)}, \quad (6)$$

де:  $R_{MZBj, MZB(j+1)}$  – відстань між МЗБ $j$  та МЗБ( $j+1$ ), визначена за табл. 2 (відстань між ПК17 і ПК9).

5.7. Тривалість перебування БПЛА у точці маршруту  $i+1$ :

$$t_{\Sigma(i+1)}^{БПЛА} = \begin{cases} t_m, \text{ якщо } (i+1) \neq MZBj; \\ t_m + t_{зб}, \text{ якщо } (i+1) = MZBj. \end{cases} \text{ (хв)}. \quad (7)$$

5.8. Поточний ресурс батареї БПЛА на момент відбуття з точки маршруту  $i+1$ :

$$t_{рбн(i+1)} = \begin{cases} t_{рбн(i)} - \left( \frac{R_{i,i+1}}{v_{БПЛА}} + t_m \right), \text{ якщо } (i+1) \neq MZBj; \\ 31, \text{ якщо } (i+1) = MZBj. \end{cases} \text{ (хв)}. \quad (8)$$

5.9. Фактичний час відбуття БПЛА з точки маршруту  $i+1$ :

$$T_{в(i+1)}^{ПАСС} = T_{n(i+1)}^{ПАСС} + t_{\Sigma(i+1)}^{БПЛА} \text{ (ГОД/ХВ)}. \quad (9)$$

5.10. Фактичний час повернення БПЛА на СП1:

$$T_{n(1(СП1))}^{БПЛА} = T_{в(n+1)}^{БПЛА} + 60 \frac{R_{n+1,1(СП1)}}{v_{БПЛА}} \text{ (ГОД/ХВ)}, \quad (10)$$

де:  $R_{n+1,1(СП1)}$  – відстань між останньою точкою маршруту  $n+1$  і точкою 1 (СП1), визначена за табл. 2.

5.11. Фактичний час повернення ПАСС на СП2:

$$T_{n(СП2)}^{ПАСС} = T_{\epsilon(МЗБк)}^{ПАСС} + 60 \frac{R_{МЗБк,СП2}}{v_{ПАСС}} \text{ (год/хв)}, \quad (11)$$

де:  $R_{МЗБк,СП2}$  – відстань між та МЗБк та СП2, визначена за табл. 4.

6. Загальний час руху за маршрутом БПЛА розраховувався за формулою:

$$t_{\Sigma}^{БПЛА} = 60 \left( \frac{R_{n+1,1(СП1)}}{v_{БПЛА}} + \sum_{i=1}^n \frac{R_{i,i+1}}{v_{БПЛА}} \right) + \sum_{i=1}^n t_{\Sigma(i+1)}^{БПЛА} \text{ (хв)}. \quad (12)$$

У нашому випадку:

$$\begin{aligned} t_{\Sigma}^{БПЛА} &= 60 \left( \frac{\sum_{i=1}^{11} R_{i,i+1} + R_{12,1(СП1)}}{v_{БПЛА}} \right) + \sum_{i=1}^{11} t_{\Sigma(i+1)}^{БПЛА} = \\ &= 60 \left( \frac{5,35 + 21,83}{40} \right) + 37 = 77 \text{ хв.} \end{aligned}$$

7. Загальний час руху за маршрутом ПАСС розраховувався за формулою:

$$t_{\Sigma}^{ПАСС} = 60 \left( \frac{R_{СП2,МЗБ1} + \sum_{j=1}^{k-1} R_{МЗБj,j+1} + R_{МЗБk,СП2}}{v_{ПАСС}} \right) + \sum_{j=1}^k t_{\Sigma(МЗБj)}^{ПАСС} \text{ (хв)}. \quad (13)$$

У нашому випадку:

$$\begin{aligned} t_{\Sigma}^{ПАСС} &= 60 \left( \frac{R_{СП2,МЗБ1} + \sum_{j=1}^1 R_{МЗБj,j+1} + R_{МЗБ2,СП2}}{v_{ПАСС}} \right) + \sum_{j=1}^2 t_{\Sigma(МЗБj)}^{ПАСС} = \\ &= 60 \left( \frac{14,7 + 5,23 + 18,8}{100} \right) + 33 = 56 \text{ хв.} \end{aligned}$$

---

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

1. Обліт постів контролю за допомогою БПЛА необхідно здійснювати у такій послідовності: СП1→ПК15→ПК18→ПК16→ПК14→ПК19→ПК17→ПК10→ПК1→ПК11→ПК9→ПК8→СП1.

2. Місця для заміни батарей БПЛА із залученням ПАСС необхідно обладнати у точках маршруту 7 (ПК17) та 11 (ПК9), оскільки згідно із запропонованим алгоритмом:

– поточного ресурсу батареї БПЛА на 3 хв недостатньо для перельоту з точки 7 (ПК17) до точки 8 (ПК10) і проведення там моніторингу (необхідно мати ресурс щонайменше на 6 хв);

– поточного ресурсу батареї БПЛА на 3 хв недостатньо для перельоту з точки 11 (ПК9) до точки 12 (ПК8) і проведення там моніторингу (необхідно мати ресурс щонайменше на 9 хв).

3. БПЛА на виконання свого завдання потребує 77 хв, тоді як ПАСС – 56 хв, тобто на 21 хв менше. Цей вииграш у часі досягається за рахунок того, що умови виконання ПАСС свого завдання дозволяють їй вилітати зі своєї стартової позиції на 17 хв пізніше за БПЛА, а повертатися на 3 хв раніше.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** На підставі аналізу особливостей використання автоматичних сервісних станцій було запропоновано фасетну класифікацію їх різновиду – автоматичних енерговідновлювальних станцій.

Використано такі ознаки класифікації: принцип функціонування, спосіб поповнення енергії, спосіб підзарядки, тип базування, тип конструкції, кількість місць для одночасного обслуговування БПЛА.

Наведено приклад застосування запропонованого підходу для моніторингу 11 постів контролю Запорізької АЕС. Для здійснення моніторингу обрано БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Dual, який рухається зі швидкістю 40 км/год та має ресурс батареї 31 хв. Для організації заміни батарей БПЛА на маршруті використано ПАСС на основі вертольота SL-231 Scout, що рухається зі швидкістю 100 км/год і здатний працювати у безпілотному режимі.

Розраховано шляхом розв’язання задачі комівояжера та позначено на карті найкоротший маршрут обльоту БПЛА заданих точок моніторингу. Визначено місця заміни батарей (МЗБ) та маршрут руху до цих місць ПАСС відповідно до розробленого алгоритму. Складено спільний графік руху за маршрутом БПЛА та ПАСС, а також окремий графік руху ПАСС. Розраховано загальний час виконання завдань з моніторингу з використанням БПЛА і загальний час руху ПАСС для забезпечення заміни батарей БПЛА.



---

Запропонований підхід та розроблене для його реалізації програмне забезпечення може бути використано операторами наземного пункту управління для розробки оптимальних маршрутів спільного застосування БПЛА та ПАСС під час моніторингу заданих точок потенційно небезпечних об'єктів.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробці варіантів проведення моніторингу заданих точок потенційно небезпечних об'єктів флотами БПЛА та флотами ПАСС, що дозволить зменшити загальний час моніторингу.

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

#### Список використаних джерел:

1. *Schneider F., Gaspers B., Peräjärvi K., Gårdestig M.* Current state of the art of unmanned systems with potential to be used for radiation measurements and sampling. Report EUR 27224 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. 63 p.

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*. 2016. Vol. 37. P. 5953–5987. DOI: 10.1080/01431161.2016.12524.

3. *Al Rashdan A. Y., St Germain S. W.* Automation of data collection methods for online monitoring of nuclear power plants. Idaho Falls, Idaho: Idaho National Laboratory, 2018. 19 p.

4. *Фесенко Г. В.* Мінімізація часу початку виконання флотом безпілотних літальних апаратів завдання з радіаційного моніторингу в новій зоні відповідальності // *Системи та технології*. 2019. № 1 (57). С. 5–20.

5. An Internet of Drone-based multi-version post-severe accident monitoring system: structures and reliability / *Fesenko H., Kharchenko V., Sachenko A., Hiromoto R., Kochan V.* // *Dependable IoT for human and industry modeling, architecting, implementation* (V. Kharchenko, A. Kor, A. Rucinski eds). Denmark, The Netherlands: River Publishers, 2018. P. 197–217.

6. ООО Вестрон. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки ЗАЭС. Техническое задание. ТЗ - ВН. 702.410.34. Харьков, 2011. 124 с.

---

7. Фетисов В. С., Артемьев А. Е., Муфаззалов Д. Ф. Автоматические сервисные станции для обслуживания электрических беспилотных летательных аппаратов: монография. Москва: “Инновационное машиностроение”, 2017. 253 с.

8. Sundar K., Rathinam S. Algorithms for routing an unmanned aerial vehicle in the presence of refueling depots // *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2014. Vol. 11. P. 287–294. DOI: 10.1109/TASE.2013.2279544.

9. On the continuous coverage problem for a swarm of UAVs / *Shakhatreh H., Khreishah A., Chakareski J., Salameh H. B., Khalil I.* // *Proceedings of 2016 IEEE 37th Sarnoff Symposium*. Newark, NJ, USA, 2016. P. 130–135. DOI: 10.1109/SARNOF.2016.7846742

10. Kannon T. E., Nurre S. G., Lunday B. J., Hill R. R. The aircraft routing problem with refueling // *Optimization Letters*. 2015. Vol. 9. P. 1609–1624. DOI: 10.1007/s11590-015-0849-8.

11. Maini P., Sujit P. B. On cooperation between a fuel constrained UAV and a refueling UGV for large scale mapping applications // *Unmanned aircraft systems: proceedings of 2015 IEEE International Conference*. Denver, CL, USA, 2015. P. 1370–1377. DOI: 10.1109/ICUAS.2015.7152432.

12. Yu K., Kumar A., Spencer B., Tokekar B. P. Algorithms and experiments on routing of unmanned aerial vehicles with mobile recharging stations // *Journal of Field Robotics*. 2019. Vol. 36. P. 602–616. DOI: 10.1002/rob.21856.

#### References:

1. Schneider F., Gaspers B., Peräjärvi K. and Gärdestig M. (2015), Current state of the art of unmanned systems with potential to be used for radiation measurements and sampling. Report EUR 27224 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 63 p.

2. Connor D. T., Martin P. G. and Scott T. B. (2016), “Airborne radiation mapping: overview and application of current and future aerial systems”. *International journal of remote sensing*, vol. 37, pp. 5953-5987. DOI: 10.1080/01431161.2016.12524.

3. Al Rashdan A. Y. and St Germain S. W. (2018), Automation of data collection methods for online monitoring of nuclear power plants, Press Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 19 p. [USA].

4. Fesenko H. V. (2019), “*Minimizatsiya chasu pochatku vykonannya flotom bezpilotnykh lital'nykh aparativ zavdannya z radiatsiynoho monitorynhu v noviy zoni vidpovidal'nosti*” [“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”], *Journal Systemy ta tekhnolohiyi* [Systems and Technologies], vol. 1 (57), pp. 5–20 [Ukraine].

5. Fesenko H., Kharchenko V., Sachenko A., Hiromoto R. and Kochan V. (2018), “An Internet of Drone-based multi-version post-severe accident monitoring system: structures and reliability”. *Dependable IoT for Human and Industry Modeling, Architecting, Implementation*, River Publishers, Denmark, pp. 197–217. [Netherlands].

6. Vestron (2011), *Avtomatizirovannaya sistema kontrolya radiatsionnoy obstanovki ZAES. Tehnicheskoe zadanie. TZ - VN. 702.410.34*, Kharkiv, 124 p. [Ukraine].

7. Fetisov V. S., Artem'ev A. E. and Mufazzalov D. F. (2017), *Avtomaticheskije servisnye stantsii dlya obsluzhivaniya elektricheskikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Automatic service stations for servicing electric unmanned aerial vehicles], Monograph, Moscow, 253 p. [Russia].

8. Sundar K. and Rathinam S. (2014), “Algorithms for routing an unmanned aerial vehicle in the presence of refueling depots”, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 11, pp. 287–294. DOI: 10.1109/TASE.2013.2279544.

9. Shakhatreh H., Khreishah A., Chakareski J., Salameh H. B. and Khalil I. (2016), “On the continuous coverage problem for a swarm of UAVs”, *Proceedings of 2016 IEEE 37th Sarnoff Symposium*, Newark, NJ, pp. 130–135. DOI: 10.1109/SARNOF.2016.7846742 [USA].

10. Kannon T. E., Nurre S. G., Lunday B. J. and Hill R. R. (2015), “The aircraft routing problem with refueling”, *Optimization Letters*, vol. 9, pp. 1609–1624. DOI: 10.1007/s11590-015-0849-8.

11. Maini P. and Sujit P. B. (2015), “On the continuous coverage problem for a swarm of UAVs”, *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, Denver, CL, pp. 1370–1377. DOI: 10.1109/ICUAS.2015.7152432 [USA].

12. Yu K., Kumar A., Spencer B. and Tokekar B. P. (2019), “Algorithms and experiments on routing of unmanned aerial vehicles with mobile recharging stations”, *Journal of Field Robotics*, vol. 36, pp. 602–616. DOI: 10.1002/rob.21856

**O. V. Borychenko**, Associate Professor,  
PhD of Technical Sciences, National  
Technical University of Ukraine “Igor  
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

**A. V. Cherniavskiy**, Associate Professor, PhD  
of Technical Sciences, National Technical  
University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv  
Polytechnic Institute”

**METHODICAL ISSUES OF IMPROVEMENT  
OF ALREADY EXISTING TRAINING PROGRAMS  
IN SPHERE OF CIVIL BUILDING ENERGY EFFICIENCY  
BASED ON THE UKRAINIAN TRAINING CENTERS**

*This article presents the results of the proposal describing the conducting collection, reviewing and analysis of the information on existing trainings and training institutions for building energy efficiency in Ukraine. Also this article contents preliminary results of identification of capacity needs of training institutions for building energy efficiency for potential improvement of already existing training.*

*There consider the following issues: 1) short description of the methodical approach and proposing an outline of the study; 2) the main education and training institutes for building energy efficiency in Ukraine; 3) training and qualification measures on energy efficiency that are offered in Ukraine; 4) identification of capacity needs of training institutions for building energy efficiency for potential improvement of already existing training.*

*Key words: baseline; capacity needs; civil building energy efficiency; methodical approach; study; training market.*

*Подано результати дослідження, що описує збирання та аналіз інформації про наявні тренінги та навчальні заклади для підвищення енергоефективності в Україні. Також у статті містяться попередні результати визначення потреб у потенціалі навчальних закладів для підвищення енергоефективності для потенційного покращання вже існуючого навчання.*

*Розглядаються такі питання: 1) короткий опис методичного підходу і пропозиція плану дослідження; 2) основні освітні та навчальні інститути для підвищення енергоефективності в Україні; 3) десять ключових критеріїв, що були визначені для оцінки й ранжування навчальних центрів. Кожен критерій належним чином описаний і має оцінну шкалу. Після нарахування*

© O. V. Borychenko, A. V. Cherniavskiy, 2019

---

балів за кожен навчальний центр відповідно до визначених критеріїв можна було виділити навчальні центри; 4) навчання і кваліфікаційні заходи з енергоефективності, які пропонуються в Україні; 5) визначення потреб щодо потенціалу навчальних закладів з метою підвищення енергоефективності для потенційного покращання наявної підготовки.

Результати оцінювання основних навичок для тренерів показали, що в Україні є певні потреби в навчанні для вдосконалення таких основних навичок, як підготовка та проведення презентацій, спілкування з аудиторією та управління конфліктами.

Результати оцінювання основних компонентів навчальної діяльності, яких немає в навчальних центрах для ведення свого бізнесу у вигляді бізнес-процесу, показали, що в Україні є такі плани: навчання і проблеми організації у галузі енергоефективності цивільних будівель; оцінка знань і навичок учасників; актуальність змісту навчальних програм; навчально-методичні матеріали для розв'язання реальних проблем учасників; підтримка учасників після тренінгу.

Ключові слова: базовий рівень; потреби в потужності; енергоефективність цивільного будівництва; методичний підхід; навчання; ринок, що навчає.

*Представлены результаты исследования, описывающие проведение сбора, обзора и анализа информации о существующих тренинговых центрах и учебных заведениях по энергоэффективности зданий в Украине. Статья содержит предварительные результаты определения потребностей потенциального совершенствования для уже существующей подготовки в учебных заведениях в сфере повышения энергоэффективности зданий.*

*Рассмотрены следующие вопросы: 1) краткое описание методического подхода к предложенному исследованию; 2) основные учебные заведения и тренинговые центры по повышению энергоэффективности в Украине; 3) учебные и квалификационные мероприятия по энергоэффективности, которые предлагаются в Украине; 4) определение потребностей потенциального совершенствования для уже существующей подготовки в учебных заведениях в сфере повышения энергоэффективности зданий.*

*Ключевые слова: базовый уровень; потенциальные потребности; энергоэффективность зданий; методический подход; обучение; рынок обучения.*

**Problem formulation.** Energy efficiency is key to ensuring a safe, reliable, affordable and sustainable energy system for the future. It is the one energy resource that every country possesses in abundance and is the quickest and least costly way of addressing energy security, environmental and economic challenges [1].

---

While energy efficiency policies are becoming a key part of the global energy market, there remains vast untapped potential to implement efficiency measures.

In modern conditions energy efficiency is one of the crucial factors for the energy strategy of Ukraine. It determines the effective functioning of the national economy and socio-economic development of Ukraine.

Energy efficiency – which can be defined as using less energy for the same or even increased output – is increasingly being recognized as one of the most important and cost-effective solutions to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. Along with the benefits to the environment, successful energy efficiency projects also typically improve a company's overall efficiency, including by increasing productivity and competitiveness.

According to DSTI/SU/SC(2014)14/FINAL one of the main barriers to adopting energy management measures and improving energy efficiency of companies is a limited knowledge of energy efficiency, as companies often have no readily available access to information about new and existing energy-saving methodologies technologies [2].

To get some knowledge about improving building energy efficiency it is needed to conduct different training in this sphere for relevant focal groups (managers, technical personnel).

Training is any planned activity to transfer or modify knowledge, skills, and attitudes through learning experiences. Personnel may require training for a variety of reasons, including the need to maintain levels of competence and respond to the demands of changing circumstances and new approaches and technologies. Training by itself cannot solve structural, organizational, or policy problems within an organization, although supportive supervision and the use of motivational strategies can help sustain performance improvement derived from training.

Training has been defined as “The systematic development of the knowledge, skills and attitudes required by an individual to perform adequately a given task or job” [3]. Training has also been defined in the Glossary of Training Terms (Manpower Services Commission, U.K.) as “a planned process to modify attitude, knowledge or skill behavior through learning experience to achieve effective performance in an activity or range of activities. Its purpose in the work situation is to develop the abilities of the individual and to satisfy current and future manpower needs of the organization”. It clearly implies that the role of training is to improve the overall performance of the organization. The term “performance” is, therefore, interwoven with training.

In order to achieve its overall goal of performance improvement, training must lead to the enhancement of professional knowledge and skills both at individual and collective levels. It should also equip personnel to respond appropri-

---

ately to emerging challenges. Training should also bring about appropriate changes in attitudes and should strive for that unique synthesis between improvement of the individual's competencies and promotion of organizational objectives.

**Purpose of the article.** The target of this article is development methodical approach estimation of baseline of the training market for building energy efficiency and identification of capacity needs of training institutions for potential improvement of already existing training.

**Main material.**

*Description of the methodical approach of baseline assessment of the training market for civil building energy efficiency*

*Background*

First of all was prepared the list of organizations that can provide energy efficiency training services. For preparation of this list was used different sources of information:

- Internet catalogs;
- the list of educational institutions with valid licenses of the Ministry of Education and Science of Ukraine for conducting educational services and certification of vocational education in accordance with the list of professions approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine;
- web-site of State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (SAEE);
- web-site of State inspection of educational institutions of Ukraine;
- official web-sites of institutes that can provide energy efficiency training services etc.

Before starting baseline assessment of the training market for civil building energy efficiency we identified such boundaries for our study:

1. In accordance with the new Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII, the training of specialists with higher education is carried out according to the relevant educational or scientific programs at the following levels of higher education: initial level (short cycle) of higher education; first (bachelor's) level; second (master's) level; the third (educational-scientific / educational-creative) level; scientific level.

2. Educational activity in the field of higher education is carried out by higher educational establishments, scientific institutions (for preparation of specialists of the degree of doctor of philosophy) on the basis of licenses.

3. In accordance with the Law of Ukraine "On the Energy Efficiency of Buildings" of June 22, 2017, No. 2118-VIII, professional certification of persons who intend to carry out activities on certification of energy efficiency and inspection of engineering systems, shall be carried out by attestation commissions established by higher educational institutions or self-regulating organizations in sphere

---

of energy efficiency. Specialists need to undergo a relevant qualification and pass a qualifying examination, as a result of which he / she will be awarded a qualification certificate. The period of validity of the qualification certificate is five years.

4. Training (upgrading) of the personnel of the companies is stipulated by Article 201 of the Labor Code on organization of personnel training. Frequency of training of personnel at the courses of improvement of professional skill is established, as a rule, at least once in 5 years.

5. In Ukraine, in the field of qualified personnel training, the dual system of vocational education and training is beginning to be actively used today. Duality as a methodological characteristic of vocational education involves the coordinated interaction of the educational and industrial sphere with the training of skilled personnel of a certain profile within the framework of organizationally-excellent forms of training. The main task of introducing elements of the dual form of education is to eliminate the main drawbacks of traditional forms and methods of training future qualified workers, to bridge the gap between theory and practice, education and production, and to improve the quality of training qualified personnel, taking into account the requirements of employers in the framework of new organizationally-excellent forms of training.

*Data collection and data gathering process*

For collection and aggregation of general information of institutes that can provide energy efficiency training services was used different questionnaire and spreadsheets. The completed spreadsheets for aggregation of general information about universities and institutes that can provide energy efficiency training services included such information: name of the universities and institutes, link to offer on web-site, scope (trainees/year), general purpose of training scheme (scope; trainees/year; general purpose of training scheme; license for training or certification), training courses' name, duration of training courses, target group, potential/ interest for co-operation with other training institutions, challenges/gaps/demand: (regarding trainer pool, topics outreach, training results)).

In order to compile a list of training centers that provide education services in the field of energy efficiency, it were used various sources of information:

- Internet-directories [4–7];
- list of educational establishments with valid licenses of the Ministry of Education and Science of Ukraine for the implementation of educational services and certification of vocational education in accordance with the list of professions which are approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine [8];
- web-site of State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (SAEE) [9];
- web-site of the State Inspection of Educational Institutions of Ukraine [10];



---

– official websites of companies and institutes that can provide energy efficiency improvement services, etc.

All training centers were state educational and training institutions, that have higher education programs (master or bachelor degree), and additionally they provide energy efficiency training services. Now the total number of training centers on building energy efficiency in Ukraine is 42 [9].

Ukraine has a sufficient number of training centres that conduct training for a short list of sub-sectors under consideration in the project. Among them: Training Centre for Energy Management (TCEM) of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Odessa Regional Center for Energy Management of Odessa National Polytechnic University, Center of Excellence in Energy of Department of Electricity and Electromechanics Vinnitsa Polytechnic Institute, Lviv Polytechnic National University, Dnipro University of Technology, Association of Energy Auditors of Ukraine, AEE Ukraine and others.

On the next step for further evaluation and analysis of the activities of the training centres, the questionnaire for conducting of market analysis of existing trainings and the main education and training centers, institutes in energy efficiency sphere in Ukraine was sent to the heads of these centres.

We received back completed the questionnaire from 14 State educational and training institutions and organizations. The summarized information on existing trainings and the main education and training centers, institutes in energy efficiency sphere in Ukraine is aggregated. The summarized information allowed us to identify the readiness of the training centers for further improvement of their training programs.

*The baseline assessment process of the training market for civil building energy efficiency*

Taking into account the results of the questionnaires and interviews of different expert in EE sphere that were carried out on this stage of the study, 10 key criteria were identified for the assessment and ranking of training centers, namely:

- 1) Scope;
- 2) Number trainees per education year;
- 3) Frequency of courses, trainings;
- 4) Training centre has a certification or state license on education;
- 5) Target group of training;
- 6) Potential interest in cooperation with international training centres;
- 7) Own training rooms availability and the willingness to provide these auditoriums for conducting joint trainings with international organizations;
- 8) Possibility to involve the coaches of the centres with the appropriate level of education and work experience on the profile for conducting trainings;
- 9) Possibility to use appropriate presentation and demonstration equipment for trainings;

---

10) Possibility of conducting various forms of training sessions.

These criterion were achieved based on expert evaluation using approaches suggested in [10–12].

Each criterion is appropriately described and has a score scale for its evaluation as suggested in [13]. After having been awarded points for each training center according to certain criteria, it was possible to allocate TOP-5 of the best training centers. In addition, it should be noted that only state institutions have a license for advanced training of students, that is, after listening to the course students receive a certificate of state standard.

The description is given below for each of these criteria.

1) Scope – this criterion can determine which sectors of the economy are focused on training courses and training centers. It is suggested to evaluate the appropriate training center on the following scale (table 1).

Table 1

**The scale for evaluation of the criteria “Scope”**

<b>Name of criteria</b>	<b>Description</b>	<b>Value</b>
Scope	general course or course for residential sector or for non-industrial companies	0
	general course and special course for all types of industrial companies	1
	general course, special course for all types of industrial companies and specific course for short list sub-sectors companies	2

2) Number trainees per education year – this criterion allows you to estimate the number of students trained in the training center in a year (table 2).

Table 2

**The scale for evaluation of the criteria “Number trainees”**

<b>Name of criteria</b>	<b>Description</b>	<b>Value</b>
Number trainees	< 50	0
	from 50 to 500	1
	> 500	2

3) Frequency of courses, trainings – using this criterion, you can evaluate how often trainings are held in the center (table 3). Based on the information received from the centers, trainings can be conducted more than once a month, either once a month or in the case of a request from the company and provided that there is sufficient number of students for training.

Table 3

**The scale for evaluation of the criteria “Frequency of courses, trainings”**

Name of criteria	Description	Value
Frequency of trainings	depends on request	0
	once per month	1
	more than once per month	2

4) Training center has a certification or state license on education – this criterion shows the availability of a state license for conducting training, which allows students to receive state-certified certificates of training (table 4).

Table 4

**The scale for evaluation of the criteria “Quality certification/state license”**

Name of criteria	Description	Value
Quality certification/state license	No	0
	Yes	1

5) Target group of training – the assessment of this criterion shows the main groups of consumers of energy efficiency education services for the appropriate training center (table 5).

According to the survey were identified following target groups:

1. Top management (decision makers);
2. Management (chiefs of departments): Procurement department, HR department, Planning and Economic Department, Sales department, Accounting, Legal service;
3. Technical personnel: Chief power engineer department, Chief Mechanic Department, Design & Engineering Department, Department of Chief Technologist, Maintenance and operations department, Department of mechanization and automation, Department of Capital Construction, Department of Metrology.

Table 5

**The scale for evaluation of the criteria “Target group”**

Name of criteria	Description	Value
Target group	One possible type of target group shown upper	0
	Two possible types of target group shown upper	1
	All possible types of target group shown upper	2

6) Ability to develop new training programs and materials through its trainers – this criterion can be used to assess the capacity of staff trainers in a training centre to develop or improve training programs (table 6).

Table 6

**The scale for evaluation of the criteria “New training programs”**

Name of criteria	Description	Value
New training programs	no	0
	yes	1

7) Availability of full-time trainers with an appropriate level of education and practical work experience on the profile for conducting trainings – according to this criterion can assess the possibility to involve the full-time trainers of the centers with the appropriate level of education and work experience on the profile for conducting trainings (table 7).

Table 7

**The scale for evaluation of the criteria “Qualification of trainers”**

Name of criteria	Description	Value
Qualification of trainers	Higher education or lack of full-time trainers	0
	Higher education and master’s degree at a minimum	1
	Higher education and work experience on the profile	2

8) Presence of own training rooms, presentation and demonstration equipment for trainings – according to this criterion can determine availability and the willingness to provide these auditoriums for conducting joint trainings with international organizations (table 8). Possibility to use appropriate presentation and demonstration equipment for trainings - this criterion shows the readiness of the training center to use its own equipment for conducting a visual practical part of the training.

Table 8

**The scale for evaluation of the criteria “Training rooms and equipment”**

Name of criteria	Description	Value
Training rooms and equipment	No training rooms and equipment	0
	Training rooms or presentation equipment	1
	Training rooms, presentation and demonstration equipment	2

9) Possibility of conducting various forms of training sessions is a criterion that shows the possibility of rapid adaptation of the training center to the needs of its participants, i.e. conducting training sessions not only in the form of lectures or seminars, but also with the departure of the company, conducting tours or webinars, etc. (table 9). According to the results of the Internet research, the following possible forms of training were identified: lecture; seminar, practical, laboratory training sessions; non-traditional types of training sessions; excursions; individual training sessions; consultations: individual, group; webinars and trainings at the enterprises.

Table 9

**The scale for evaluation of the criteria “Forms of training sessions”**

<b>Name of criteria</b>	<b>Description</b>	<b>Value</b>
Forms of training sessions	One of the possible options described above	0
	Two or more of the options described above	1
	All possible options described above	2

10) Availability of own trainings in the field of energy efficiency of the company – this criterion to evaluate the availability of training courses, which are held on a regular basis and worked full-time coaches (table 10).

Table 10

**The scale for evaluation of the criteria “Own trainings”**

<b>Name of criteria</b>	<b>Description</b>	<b>Value</b>
Own trainings	no	0
	yes	1

Based on the results of questionnaires and telephone interviews of the centers, each of them was assigned an appropriate assessment according to the established scale, which is described above. To determine the total index of the training center, the indicator of the dispersion of the values of the evaluation of the corresponding criterion for the ranking of centers with respect to its maximum possible estimate was used. The deviation shows how much the average values of each criterion deviate from its maximum value on average. Given this, the total index of the training center for each center was calculated. Formation of the specified rating is carried out by using the total index of the training center. I.e. the center, which has the lowest total index, is the most attractive and promising for further cooperation with international organizations in the direction of development of training activities. Conversely, if the center has the highest total index, then it is the least attractive.

Below in Table 11 are shown the results of the assessment of the attractiveness of Ukraine's training centers in the field of energy efficiency.

Table 11

**The results of the assessment of the attractiveness of Ukraine's training centers**

#	Name of the training centre	Scope	Number trainees	Frequency of trainings	Quality certification / state license	Target group	New training programs	Qualification of trainers
1	Training centre 1	2	2	1	1	2	1	2
2	Training centre 2	2	1	1	1	1	1	2
3	Training centre 3	2	1	1	0	2	1	1
4	Training centre 4	1	1	1	1	2	0	2
5	Training centre 5	2	2	1	0	2	1	0
6	Training centre 6	1	1	1	0	1	1	1
7	Training centre 7	2	1	0	0	2	1	2
8	Training centre 8	1	1	0	0	2	0	2
9	Training centre 9	2	2	1	0	2	0	0
10	Training centre 10	2	1	0	1	1	1	1
11	Training centre 11	1	1	0	1	1	0	1
12	Training centre 12	1	1	1	0	1	0	0
13	Training centre 13	1	1	1	0	1	0	0
14	Training centre 14	0	1	0	0	1	0	0
#	Name of the training centre	Training rooms and equipment		Forms of training sessions	Own trainings	Total index		
1	Training centre 1	1		1	1	1,732		
2	Training centre 2	1		1	1	2,236		
3	Training centre 3	1		2	0	2,449		
4	Training centre 4	2		1	1	2,236		
5	Training centre 5	1		2	0	2,828		
6	Training centre 6	1		1	1	2,828		
7	Training centre 7	1		1	1	2,828		
8	Training centre 8	2		1	1	3,000		
9	Training centre 9	1		1	0	3,162		
10	Training centre 10	1		1	0	3,162		
11	Training centre 11	1		1	1	3,317		
12	Training centre 12	1		1	0	3,606		
13	Training centre 13	1		1	1	3,464		
14	Training centre 14	1		1	0	4,359		

After evaluating all the factors, it is possible to allocate TOP-5 training centers in Ukraine. The above training centers prepare more than 500 students for the academic year, including 30 % of the female audience. Training is carried out at least once

---

a month. The designated centers conduct trainings in three or more training programs, the training lasts more than three days. It should also be noted that these centers are interested in cooperating with international institutions for the further development and harmonization of training programs in accordance with international requirements.

With regard to trainers who are directly involved in training, all trainers have higher education in the energy sector, in addition most of them have academic degrees.

**The main training and qualification measures and capacity needs of training institutions for civil building energy efficiency for potential improvement of already existing training**

Designing training program is an important component of systematic approach to training. If it could be possible, training experts will be consulted. Designing training programs will be involved determining the level of participants, identifying the resource persons and selecting appropriate methods and techniques for training.

Also the recommendation for an improvement of training programs by extending the analysis of existing training programs beyond a suitable mix of training methods. A judicious mix of one or more methods should be adopted to suit each training program. Some of the important training methods are enlisted below: lecture, discussion, case study, role play, brain storming, computer assisted learning, exercise, business games, on the job training, project work, programmed learning.

The training objective and the outcome an event seeks to achieve determine the choice of training method. For example, if the objective is to develop technical skill, then there is need for practical exercises; if conceptual skill, then case study could be a method. If attitudinal orientation is intended, then role-play is an appropriate method.

In today's market for conducting trainings, seminars and advanced training courses, it is necessary to evaluate trainers not only by professional skills and hard skills, but also taking into account soft skills. Therefore, this study proposes to assess the soft skills that are lacking for trainers during effective trainings that would later be implemented as a business project:

1) activity of the trainer during the training is the ability of the trainer to attract the attention of listeners to unusual information, to ask interesting questions, to surprise with bright performance, to include the students in the joint decision of educational issues and tasks.

2) flexibility of the trainer during the training – this is the ability of the trainer to find compromises, solutions, accept changing conditions and quickly adapt to them. Flexible trainer should be able to easily adapt to any changes, and sometimes even provoke them.

---

3) communicability of the trainer during the training – is the ability of the trainer to establish contacts, the ability to constructively communicate with the students, as well as the decisive skill of successful social interaction, affecting both professional and personal relationships.

4) purposefulness – a conscious and active direction of the coach for a certain result after the training of students. Such a trainer knows exactly what he wants to bring to the attention of the audience, where to go and what to fight.

5) concentration of the audience's attention is the ability of the trainer to separate the important from the secondary and to keep the audience's attention to the goal throughout the time of the whole study.

6) decision-making – the ability of the coach in any situation to rationally choose solutions from the proposed alternatives, aimed at achieving a conscious result. In this context, it also means the ability of the trainer to assume responsibility for the consequences of the decisions taken.

7) teamwork and leadership is the ability of the trainer to create an environment in which the differences between the students are encouraged and healthy competition is welcomed, which ensures the best results for the team. The coach should take on the role of organizer of team interaction: to structure work in groups, to follow rules, to activate non-active listeners, and to hold a leadership position until the problem is resolved.

8) time management is the ability of the trainer to plan and allocate time for training as much as possible, namely: to set priorities for tasks according to their importance, to focus efforts on the most important material, to continuously conduct training only on the scheduled schedule, if necessary, to adapt the training schedule without losing the quality of the tasks, effectively delegate the tasks and control the progress of their implementation, respect the time of the listeners.

9) personal development – this desire and ability of the coach to constant personal development.

10) motivating yourself and participants is the ability of the coach to motivate oneself and others to achieve their goals through an appropriately structured system of values and attitudes that he himself realizes and follows.

11) conflict management is the ability of the coach to control his / her situation in conflict and stress situations, finding and implementing the most optimal solution that satisfies the decision of all parties to the conflict.

12) presentation skills is the ability of the trainer to demonstrate confident skills in preparing for a public speaking, engaging the audience and keeping the attention of the audience, able to create and conduct dynamic, effective and constructive performances.

The results of the assessment of main soft skills for trainers are shown in Figure 1 and Table 12.



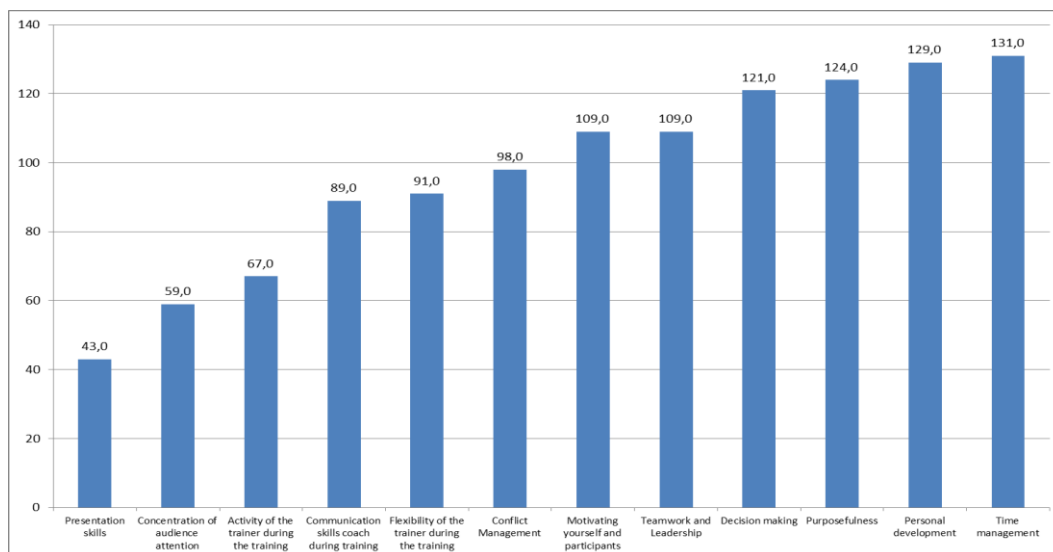


Figure 1. The results of the assessment of main soft skills for trainers

In order to further develop a competitive market for conducting trainings, seminars and advanced training courses, it is also necessary to evaluate existing training centers in terms of effective work and the possible lack of logistics for the implementation of their activities as business forms. To this end, this study proposes to assess the main components of training activities that are lacking in the training centers for the conduct of their business in the form of a business process, namely:

1) Training plans and problems of organizations in terms of energy efficiency of civil buildings – in order to identify the most relevant and necessary training programs in the field of energy efficiency, training centers should constantly study the plans of enterprises for the subsequent years of work, as well as problems that arise during the production process.

2) Determining the demand for training – to clearly understand how much the training center may receive financial profit next year, it is necessary to continuously determine the demand for trainings, seminars and advanced training courses in the field of energy efficiency of civil buildings.

3) Administration of training is the activity of the training center, which is connected with the study of the strategic tasks of state bodies, enterprises, institutions, organizations in terms of energy efficiency and development trends in the competitive environment, as well as in certain sectors of social production.

4) Defining the goals of learning – the basis for effective learning is the clear statement of goals and target orientation learning. Its manageability is connected with the possibility of a clear definition of the purpose, planning, designing the didactic process, operational feedback.



---

5) Assessment of knowledge and skills of participants, taking into account it when completing the groups is one of the most essential prerequisites for conducting qualitative training of students, because it is important to take into account a preliminary assessment of their knowledge and skills in the field of energy efficiency, as the students should get those hopes and achieve those goals, which were set before the beginning of training.

6) Actuality of the content of training programs – some programs in the field of energy efficiency have so far lost their relevance due to the lack of modern orientation of the content of training and lack of feedback.

7) Orientation training materials for real problems of participants – some trainings are conducted without taking into account the real practical problems that are constantly encountered by students at enterprises, organizations and institutions.

8) Methodical support – is implemented by obligatory accompaniment of educational activity of the students with all necessary teaching materials of the training.

9) Resource support – is implemented by obligatory accompaniment of educational activity of the students with all necessary technical means of training.

10) Logical structuring of training – the ability of learners to learn and process complex information is limited and very often varies according to the abilities of the training group, this contradiction can only be resolved by logical structuring of the content of the training.

11) Evaluation of effectiveness of training – after conducting an education, it should be evaluated for its effectiveness in order to understand whether the teaching methodology was chosen correctly and whether something needs to be changed in the future.

12) Support for participants after the training – the support is aimed at monitoring the effectiveness of the application of the training received by the participants in the practice, the identification of the need for further training.

It is necessary to organize: 1) observing the work of participants in real conditions of work after the training; 2) individual counselling in the workplace as needed; 3) discussion on the results of the training in terms of applied application of the knowledge gained, questions of response, counselling.

The results of the assessment of main components of training activities that lacking in the training centers for the conduct of their business in the form of a business process are shown in Figure 2 and Table 13.

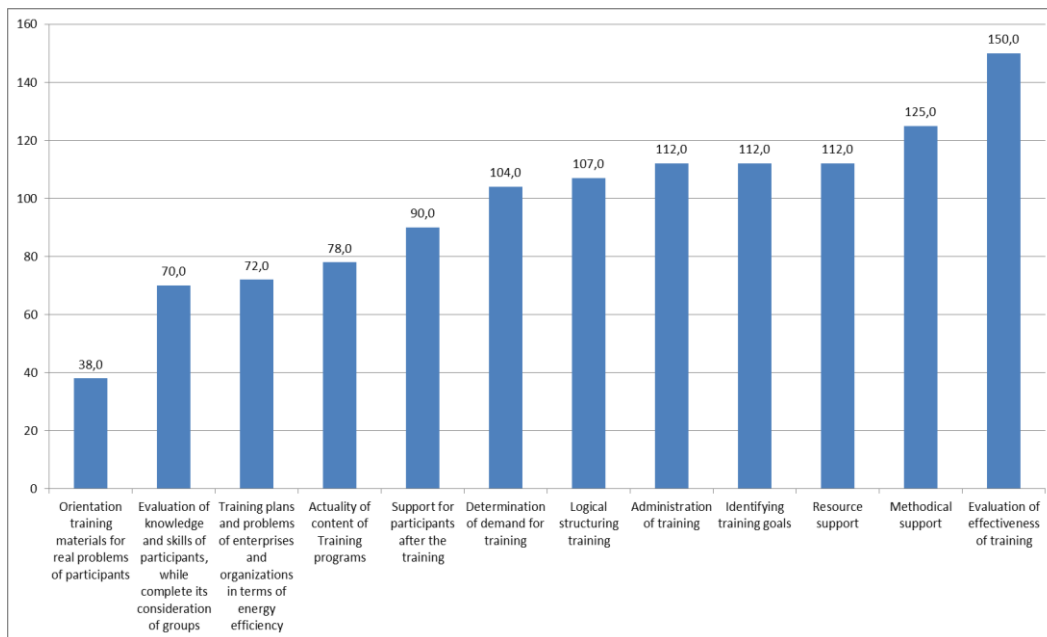


Figure 2. The results of the assessment of main components of training activities that lacking in the training centers for the conduct of their business in the form of a business process

### Conclusions and further researches directions.

1. The research was conducted to develop a baseline of the training market for civil building energy efficiency, in order to gain a comprehensive understanding of the current offer and demand for trainings available on the market. This study aroused in connection with a necessity to conduct of significant change in the functioning of conditions of the training market for civil building energy efficiency.

2. In the article described of the methodical approach estimation of baseline of the training market for building energy efficiency which included: collecting, reviewing and conducting of analysis of the information on existing trainings and training institutions for building energy efficiency; conducting interviews with the relevant institutions and stakeholders on the training market.

3. In the study were identified 10 key criteria for the assessment and ranking of training centers. Each criterion is appropriately described and has a score scale for its evaluation. After having been awarded points for each training center according to certain criteria, it was possible to allocate training centers.

4. identified the main components of training activities of training institutions for building energy efficiency for potential improvement of already existing training.

Table 13

**The results of the assessment of main factors that lacking in the training centers  
for the conduct of their business**

№	Indicator	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Expert 7	Expert 8	Expert 9	Expert 10	Expert 11	Expert 12	Expert 13	Expert 14	Expert 15	Sum of ranks	$S_j - S$	$(S_j - S)^2$	
1	Training plans and problems of enterprises and organizations in terms of energy efficiency	3	1	3	5	10	6	8	4	6	5	6	4	3	3	5	72	-25,5	650,25	
2	Determination of demand for training	12	6	10	11	4	7	9	11	10	4	3	5	4	4	4	104	6,5	42,25	
3	Administration of training	1	12	9	12	3	12	10	9	3	7	5	12	5	6	6	112	14,5	210,25	
4	Identifying training goals	2	10	7	4	8	8	3	12	12	6	7	11	8	7	7	112	14,5	210,25	
5	Evaluation of knowledge and skills of participants, while complete its consideration of groups	10	2	4	3	6	3	5	5	4	3	4	3	10	5	3	70	-27,5	756,25	
6	Actualy of content of Training programs for real problems of participants	4	3	6	1	7	4	1	1	2	8	10	1	12	8	10	78	-19,5	380,25	
7	Methodical support	5	4	2	2	12	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	38	-59,5	3540,25	
8	Resource support	7	7	11	10	9	2	7	7	7	10	12	10	7	10	9	125	27,5	756,25	
9	Logical structuring training	9	5	5	6	2	5	6	6	8	11	11	9	9	9	11	112	14,5	210,25	
10	Evaluation of effectiveness of training	6	8	12	9	1	11	4	3	5	9	8	6	6	11	8	107	9,5	90,25	
11	Support for participants after the training	11	9	8	7	11	9	11	10	11	12	9	7	11	12	12	150	52,5	2756,25	
12		8	11	1	8	5	10	12	8	9	2	2	8	2	2	2	90	-7,5	56,25	
																average	97,5	sum	9659	
	<i>Indicators which most lack training center, given the rank of "1", an Indicator which lacks the least - the rank of "12".</i>																		W	0,3002
	To check the consistency degree views of experts determine the coefficient of concordance:																		Pearson criterion (calculated)	49,5333
																			Pearson criterion (tabular)	19,68
																				The opinions of experts agreed

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^k (S_j - S)^2}{m^2(k^2 - k)}$$

---

### List of sources used:

1. Energy efficiency is being outpaced by growth in energy demand, but a more efficient world is possible / International Energy Agency: official site. URL: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency>
2. DSTI/SU/SC(2014)14/FINAL. An introduction to energy management systems: Energy savings and increased industrial productivity for the iron and steel sector / Organisation for Economic Co-operation and Development: official site. URL: [https://www.oecd.org/sti/ind/DSTI-SU-SC\(2014\)14-FINAL-ENG.pdf](https://www.oecd.org/sti/ind/DSTI-SU-SC(2014)14-FINAL-ENG.pdf).
3. *Michael Armstrong, Stephen Taylor*. Handbook of Human Resource Management Practice Paperback. Currie, Donald: Blackwell Business (Oxford, UK), 2009. 845 p.
4. Провідні навчальні заклади та компанії / Освіта.UA: офіційний сайт. URL: <http://osvita.ua/>.
5. Усі навчальні заклади України / Education.ua – освіта в Україні: офіційний сайт. URL: <https://www.education.ua/ua/>.
6. Довідник ВНЗ / Інформаційно-аналітичний портал про вищу освіту в Україні та за кордоном: офіційний сайт. URL: <http://vnz.org.ua/vnz>.
7. Перелік навчальних закладів які мають право здійснювати діяльність у сфері вищої освіти та професійно-технічної освіти для навчання в яких може бути виданий ваучер / Міністерство освіти та науки України: офіційний сайт. URL: <https://mon.gov.ua/ua/ministerstvo/poslugi/licenzuvannya/perelik-navchalnih-zakladiv-yaki-mayut-pravo-zdijsnyuvati-diyalnist-u-sferi-vishoyi-osviti-ta-profesijno-tehnichnoyi-osviti-dlya-navchannya-v-yakih-mozhe-buti-vidanij-vaucher>.
8. Перелік закладів вищої освіти та саморегульованих організацій, які створили атестаційні комісії / Держенергоефективності України: офіційний сайт: URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/commissions>.
9. Моніторинг системи освіти / Державна служба якості освіти України: офіційний сайт: URL: <http://www.sqe.gov.ua/index.php/uk-ua/monitorynh-systemy-osvity>.
10. *Толстова Ю. Н.* Измерение в социологии : учебн. пособ. М.: КДУ, 2007, 288 с.
11. *Денисова А. Л., Зайцев Е. В.* Теория и практика экспертной оценки товаров и услуг: учеб. пособ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002, 72 с.
12. *Анохин А.Н.* Методы экспертных оценок: учебн. пособ. Обнинск: ИАТЭ, 1996, 148с.
13. *Дэвид Г.* Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978, 144 с.

### References:

1. International Energy Agency (2018), *Energy efficiency is being outpaced by growth in energy demand, but a more efficient world is possible*, official site, available at: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>. [USA]

- 
2. Organisation for Economic Co-operation and Development (2014), *DSTI/SU/SC(2014)14/FINAL. An introduction to energy management systems: Energy savings and increased industrial productivity for the iron and steel sector*, official site, available at: [https://www.oecd.org/sti/ind/DSTI-SU-SC\(2014\)14-FINAL-ENG.pdf](https://www.oecd.org/sti/ind/DSTI-SU-SC(2014)14-FINAL-ENG.pdf). [France]
  3. Michael Armstrong, Stephen Taylor. (2009), *Handbook of Human Resource Management Practice Paperback*. Currie, Donald, Blackwell Business, 845p. [Oxford, UK]
  4. Osvita.UA (2019), *Providni navchalni zaklady ta kompanii* [Leading educational institutions and companies], official site, available at: / <http://osvita.ua/> [Ukraine]
  5. Education.ua – Education in Ukraine (2019), *Usi navchalni zaklady Ukrainy* [All educational institutions of Ukraine], official site, available at: <https://www.education.ua/ua/>. [Ukraine]
  6. Information-analytical portal on higher education in Ukraine and abroad (2019), *Dovidnyk VNZ* [Directory of universities], official site, available at: <http://vnz.org.ua/vnz>. [Ukraine]
  7. Ministry of Education and Science of Ukraine (2019), *Perelik navchalnykh zakladiv yaki maiut pravo zdiisnyuvaty diialnist u sferi vyshchoi osvity ta profesiino-tekhnichnoi osvity dlia navchannia v yakikh mozhe buty vydanyi voucher* [List of educational institutions eligible to pursue higher education and vocational education for which a voucher may be issued], official site, available at: <https://mon.gov.ua/ua/ministerstvo/poslugi/licenzuvannya/perelik-navchalnih-zakladiv-yaki-mayut-pravo-zdiisnyuvati-diyalnist-u-sferi-vishoyi-osviti-ta-profesijno-tehnichnoyi-osviti-dlya-navchannia-v-yakih-mozhe-buti-vidaniij-vaucher>. [Ukraine]
  8. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (2019), *Perelik zakladiv vyshchoi osvity ta samorehulivnykh orhanizatsii, yaki stvorily atestsatsiini komisii* [List of higher education institutions and self-regulatory organizations that have established certification committees], official site, available at: <https://saee.gov.ua/uk/content/commissions>. [Ukraine]
  9. State service of education quality of Ukraine (2019), *Monitorynh systemy osvity* [Monitoring the education system] official site, available at: <http://www.sqe.gov.ua/index.php/uk-ua/monitorynh-systemy-osvity>. [Ukraine]
  10. Tolstova YU. N. (2007), *Izmereniye v sotsiologii*, Tutorial, Press KDU, Moskva, 288 p. [Russia]
  11. Denisova A. L. and Zaytsev Ye. V. (2002), *Teoriya i praktika ekspertnoy otsenki tovarov i uslug*, Tutorial, Press Tambov State Technical University, Tambov, 72 p. [Russia]
  12. Anokhin A. N. (1996), *Metody ekspertnykh otsenok*, Tutorial, Press IATE, Obninsk, 148 p. [Russia]
  13. Devid G. (1978), *Metod parnykh sravneniy*, Press Statistika, Moskva, 144 p. [Russia]

**Ю. Л. Поночовний**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Полтавської державної аграрної академії

## **АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ УПРАВЛІННЯ КІБЕРБЕЗПЕКОЮ РОЗПОДІЛЕНИХ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР**

*Узагальнено актуальні питання управління безпекою організаційно складних систем. Виділено основні принципи визначення концептуальних підходів до управління безпекою в наукових працях та нормативних документах для різних сфер життєдіяльності людини. Приділено увагу як складовим безпеки ІТ-систем (функціональна, інформаційна, кібербезпека), так і якостям складних систем, до яких включено безпеку (гарантоздатність, функціональна надійність). Наведено порівняльний перелік принципів для різних концепцій управління безпекою ІТ-систем та інфраструктур.*

*Ключові слова: функціональна та кібербезпека; концепції управління; розподілені ІТ-інфраструктури.*

*Обобщены актуальные вопросы управления безопасностью организационно сложных систем. Выделены основные принципы представления концептуальных подходов к управлению безопасностью в научных трудах и нормативных документах для различных сфер жизнедеятельности человека. Уделено внимание как составляющим безопасности ИТ-систем (функциональная, информационная, кибербезопасность), так и качествам сложных систем, в которые включена безопасность (гарантоспособность, функциональная надежность). Приведен сравнительный перечень принципов для различных концепций управления безопасностью ИТ-систем и инфраструктур.*

*Ключевые слова: функциональная и кибербезопасность; концепции управления; распределенные ИТ-инфраструктуры.*

*The paper summarizes the current issues of security management of organizationally complex systems. Massive introduction of cloud technologies, the Internet of things (IoT), intelligent data processing systems, block chain technologies is not only a fashionable trend, but also dictates the conditions for the development of the information and communication systems industry.*

© Ю. Л. Поночовний, 2019



---

*Organization, definition and classification of safety and cybersecurity management concepts in organizationally complex systems are disclosed in the work of researchers in various industries: aviation, economic, information (cybersecurity), administrative, environmental and the like. The article summarizes basic principles of conceptual approaches to safety and cybersecurity management in scientific works and regulatory documents for various spheres of human life.*

*The purpose of this article is to summarize basic principles for presenting conceptual approaches to managing the cybersecurity of IT-systems and infrastructures in scientific and regulatory documents. To solve the problem, it is necessary to consider the concepts of security management in various spheres of human life, to determine the concept and components of cybersecurity for IT-systems and infrastructures, to consider the basic principles for various conceptual approaches to security management.*

*Attention is paid both to the components of IT-systems security (functional-, informational-, cybersecurity), and the qualities of complex systems that include security (dependability, functional reliability). Among the main provisions of security management concepts, an important place is given to security policy, both the general and the whole (often as security strategies), and the separation of policies into global and local.*

*A comparative list of principles for various concepts of managing IT-systems and infrastructures security is given. The security management concepts of distributed IT-systems are analyzed on the example of critical infrastructures, information and telecommunication systems, industrial automation systems, cyberphysical systems and continuous business systems. It is determined that various concepts can use general principles, such as risk management, improvement/adaptation of the security management system.*

*Key words: safety and cybersecurity; management concepts; distributed IT-infrastructure.*

**Постановка проблеми.** Наразі використання розподілених ІТ-інфраструктур поширено в усіх галузях життєдіяльності людини, у тому числі й галузі критичного застосування. Масове впровадження хмарних технологій, інтернету речей (ІоТ), інтелектуальних систем обробки даних, технологій блок-чейн – не тільки модний тренд, але й умова розвитку галузі інформаційно-комунікаційних систем. Проте хронологія аварій і катастроф організаційно складних систем та комплексів авіаційної, ракето-космічної, енергетичної, фінансової та інших галузей вказує на пряму залежність між розмірами і складністю системи й наслідками критичної ситуації в ній. Для запобігання нештатним та критичним ситуаціям, аваріям і катастрофам сучасні організаційно складні системи обов'язково повинні підтримувати безпечний стан (як самої системи, так і навколишнього відносно неї середовища).

---

## **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

### ***Аналіз джерел інформації щодо способів визначення концепцій управління безпекою у різних галузях життєдіяльності***

Питання організації управління безпекою в організаційно складних системах, у тому числі з визначення та класифікації концепцій управління безпекою, розкрито у працях дослідників різних галузей: авіаційної [1], економічної [2; 3], інформаційної (кібербезпека) [4; 5], адміністративної [6], екологічної [7] тощо. Узагальнюючи опрацьований матеріал, слід зазначити, що управління безпекою є комплексом взаємоузгоджених різнопланових заходів, спрямованих на запобігання ризикам різного характеру та мінімізацію їхніх наслідків. Отже, під безпечним розуміють стан системи, за яким ризики завдання шкоди людині, системі чи навколишньому середовищу або зменшуються, або підтримуються нижче від певного рівня.

За енциклопедичним визначенням [8], під концепцією розуміють систему поглядів на явища або процеси. Ця система є первинною, головною, основотвірною. У поданні концепцій та їхніх елементів дослідники зазначають їхній розрізнений характер, оскільки, з одного боку, є наукова складова, а з іншого – необхідно продемонструвати пріоритет своїх концепцій над іншими поглядами.

Наукові дослідження концепцій управління безпекою подаються у вигляді статей, що публікуються у виданнях високого рівня (фахових, міжнародних), монографіях, науково-дослідних працях та проєктах. Завершальним етапом подання концепції можна вважати доведення її положень до рівня нормативних актів, законів чи стандартів певних відомств, держави чи міжнародних організацій.

Для виокремлення чи виділення концепції як авторського результату досліджень їй надається певний ідентифікатор. Таким ідентифікатором може бути назва, наприклад: концепція зон стратегічних ресурсів [9], концепція “об’єкт – загроза – захист” [10], Концепція “безпечна інфраструктура з небезпечних і ненадійних незалежних систем” [11], conception of multilevel complex security system [12]. Для загальновідомих концепцій можливе подання її за прізвищем автора, наприклад: концепція Д. Ф. Неймана [11]. Якщо концепція розглядається як складова методології, то вона може отримати додатковий класифікатор, наприклад: концепція 2.1 структурно-семантичне уявлення профілів [13].

Концепції управління безпекою трактуються різними дослідниками як:

- упорядкована й системна множина принципів, методів і моделей, що входить до складу визначеної методології [11; 13; 14];
- керівний документ (стандарт, закон, нормативний акт) чи їх системна множина [15–18];
- задокументовані взаємозв’язки між нормативно-правовими документами, видами загроз, відповідальними виконавцями та процесами управлін-

---

ня безпекою; при цьому документи мають у назві ключові слова “стратегія” чи “політика” [6; 7; 19].

**Мета статті** – узагальнення основних принципів концептуальних підходів до управління безпекою ІТ-систем та інфраструктур у наукових і нормативних документах. Для цього необхідно розглянути концепції управління безпекою у різних сферах життєдіяльності людини, визначитись із поняттям і складовими безпеки для ІТ-систем та інфраструктур, розглянути базові принципи для різних концептуальних підходів до управління безпекою.

#### **Виклад основного матеріалу.**

#### ***Аналіз наявних підходів до визначення поняття безпеки розподілених ІТ-інфраструктур***

У питаннях визначення терміна “безпека” щодо ІТ-інфраструктур наразі можна виділити два головних розгалуження:

- безпека як “safety”;
- безпека як “security”.

“Safety” більшість вітчизняних дослідників перекладає як “функціональна безпека”, таке ж трактування цього слова і в стандартах. Під функціональною безпекою розуміють відсутність неприйняттого ризику за рахунок використання системи управління безпекою та заходів зниження ризику [20]. Це властивість виключати або мінімізувати шкідливі наслідки у разі відмов для користувачів, інших систем та навколишнього середовища [14]. Концептуальні підходи до управління функціональною безпекою доведені до рівня міжнародних стандартів, закріплених за окремими галузями: авіація [21], автомобільна техніка [22], залізничний транспорт [23], атомні електростанції [24], електронні/електричні програмовані компоненти [20].

Термін “security” до певного часу перекладали як “інформаційна безпека”. Але впродовж останнього десятиліття поруч із цим терміном активно використовується інший – “cybersecurity”, що вже отримав чіткий переклад як “кібербезпека”. Інформаційну безпеку розглядають у контексті забезпечення конфіденційності, цілісності та готовності [5; 25] (додатково можуть розглядатися автентичність, неможливість відмови від авторства й надійність, тобто reliability [14; 15; 26]). Кібербезпека трактується як стан безпечного функціонування кіберпростору, його використання в інтересах особи, суспільства і держави [19]; чи як дії, необхідні для запобігання несанкціонованому використанню, відмови в обслуговуванні, перетворення, розсекречення, втрати прибутку або пошкодження критичних систем чи інформаційних об’єктів [16; 27].

Концептуальні підходи до управління інформаційною безпекою реалізовані на рівні багатьох міжнародних стандартів, серед яких треба виокремити ISO/IEC15408 (критерії оцінювання ІБ), ISO/IEC2700x (система менеджменту ІБ). Управління кібербезпекою на концептуальному рівні визначено в серії стандартів ISO/IEC 62443 [16; 28].

---

Слід зазначити, що ряд дослідників приділяє увагу поєднанню властивостей “safety”, “security” (“cybersecurity”) у рамках загального концептуального підходу. Серед вітчизняних дослідників провідне місце належить працям В. С. Харченка [11; 13; 14], в яких узагальнювальною властивістю є “гарантоздатність” (dependability). Гарантоздатність поєднує групи первинних властивостей (безвідмовність, готовність, обслуговуваність, вірогідність, функціональна безпека, життєздатність, цілісність, конфіденційність) та вторинних властивостей (інформаційна безпека, кібербезпека, автентичність, надійність). Концепція гарантоздатності є хронологічним і послідовним розвитком запропонованої А. Авіженісом, Ж. К. Лапрі та В. Ренделом [29] концепції “Dependability”. У праці І. Б. Шубинського [30] трапляється термін “функціональна надійність”, тобто поєднання готовності, безвідмовності, правильності, безпомилковості, стійкості, цілісності та доступності.

#### ***Аналіз концептуальних підходів до управління безпекою багатоелементних систем***

Запобігання небезпечним ситуаціям у сучасному діджиталізованому навколишньому середовищі практично неможливе без використання систем управління на всіх етапах життєвого циклу від проєктування до утилізації. У багатьох концепціях процес управління безпекою розглядається відносно багатоелементної, але цілісної системи.

У праці [31] виділяють два підходи до управління безпекою. Традиційний (враховуючи час публікації, його можна трактувати як застарілий) полягає у реагуванні на інциденти після їх виникнення з відпрацюванням корегувальних та відновлювальних заходів. Сучасний підхід додатково передбачає постійний моніторинг ситуації та застосування комплексу моделей для передбачення інцидентів і вживання відповідних заходів щодо запобігання їм, а також інтегрованої інформаційно-аналітичної системи в складі комплексу управління безпекою.

Також розрізняють два підходи до визначення концепцій безпеки [2]:

а) щодо форми розвитку ресурсів, узгодження конкурентних викликів та діяльності стосовно зовнішнього середовища;

б) як протидію загрозам та забезпечення супутніх показників.

Серед основних положень концепції управління безпекою важливе місце належить політиці безпеки як загальному й цілому [2; 19], а також поділу політик на глобальну та локальні [17; 32; 33].

#### ***Аналіз концептуальних підходів до управління безпекою розподілених ІТ-систем***

Концептуальні підходи до процесу управління безпекою ІТ-систем як сукупності розподілених елементів висвітлено у низці праць, зафіксованих у стандартах. Типові концепції проаналізовано на основі сукупності ідентифікаторів: (джерело опису, назва, об’єкт захисту, принципи) та зведено у табл. 1.

**Порівняння концептуальних підходів  
до управління безпекою розподілених ІТ-систем**

№ з/п	Показники	Концептуальні підходи
1	Джерело	Критичні інфраструктури [11]:
	Назва	Концепція: “безпечна інфраструктура з небезпечних і ненадійних незалежних систем”
	Об’єкт	Критична інфраструктура як інтегральна система, що складається з функціонально самостійних (слабо залежних) систем, які можуть функціонувати абсолютно незалежно (слабо залежно) одна від одної
	Принципи	– динамічний аналіз безпеки; – облік емерджентного ризику в критичних інфраструктурах; – інтеграція результатів апіорного і апостеріорного аналізу безпеки; – послідовно-паралельна інтеграція методів оцінки безпеки; – декомпозиція невизначеності; – інфраструктурне резервування і диверсності для забезпечення безпеки критичних інфраструктур
2	Джерело	Кіберфізичні системи [10]:
	Назва	Концепція “об’єкт – загроза – захист”
	Об’єкт	Кіберфізичні багаторівневі системи: – рівень кібернетичної платформи – інформаційні ресурси (ІР), інформаційні системи (ІС), інформаційні процеси (ІП); – рівень комунікаційної платформи – інформаційні мережі та канали (ІМ (К)); – рівень фізичної платформи – давачі (Д)
	Принципи	– менеджмент ризику; – зобов’язання; – службові обов’язки і відповідальність; – цілі, стратегії і політика; – управління життєвим циклом
3	Джерело	Системи інформаційних і телекомунікаційних технологій [15]:
	Назва	Концепція менеджменту безпеки інформаційних і телекомунікаційних технологій
	Об’єкт захисту	Активи інформаційних і телекомунікаційних технологій (все, що має цінність для організації). Активи включають в себе таке (але не обмежуються): – матеріальні активи (обчислювальні засоби, засоби зв’язку, будівлі); – інформацію (дані) (документи, бази даних); – програмне забезпечення; – здатність виробляти продукт або надавати послугу; – персонал; – нематеріальні ресурси (престиж фірми, репутацію)
	Принципи	– менеджмент ризику; – зобов’язання; – службові обов’язки і відповідальність; – цілі, стратегія і політика; – управління життєвим циклом

4	Джерело	Промислові системи [16]:
	Назва	Концепція безпеки систем промислової автоматичної контролю
	Об'єкт захисту	Майнові об'єкти – фізичні або логічні об'єкти, які належать організації або стосуються її у певний спосіб, являючи собою для неї відчутну або реальну цінність. Такі об'єкти можна поділити на фізичні й логічні, а також кадрові ресурси
	Принципи	У явному вигляді принципи не представлені. Можна розглянути як фундаментальні вимоги до безпеки промислової автоматичної: <ul style="list-style-type: none"> <li>– управління доступом (AC);</li> <li>– контроль за використанням (UC);</li> <li>– цілісність даних (DI);</li> <li>– конфіденційність даних (DC);</li> <li>– обмеження потоку даних (RDF);</li> <li>– своєчасне реагування на подію (TRE);</li> <li>– доступність ресурсів (RA)</li> </ul>
5	Джерело	Інформаційні системи [17]:
	Назва	Концепція процесу менеджменту інформаційної безпеки
	Об'єкт захисту	Цінні активи – все, що має цінність для організації
	Принципи	– розуміння вимог інформаційної безпеки організації та необхідності проводити політику і встановлювати цілі інформаційної безпеки; – уведення директив щодо впровадження та експлуатації для управління ризиками інформаційної безпеки організації в контексті сумарних бізнес-ризиків організації; – моніторинг і перевірка якості функціонування та ефективності системи менеджменту інформаційної безпеки; – постійне вдосконалення, що ґрунтується на реальних оцінках
6	Джерело	Бізнес-системи [34]:
	Назва	Концепція готовності ІКТ до забезпечення безперервності бізнесу (IRBC – ICT readiness for business continuity)
	Об'єкт захисту	Бізнес-операції, бізнес-послуги
	Принципи	– запобігання інцидентам; – виявлення інцидентів; – реагування на інциденти; – відновлення; – удосконалення

**Концепція управління безпекою розподілених ІТ-систем  
і мінімізація енергоспоживання**

Концепція управління безпекою за умови мінімізації енергоспоживання розвивається відповідно до складних систем, побудованих на принципах розподіленої та динамічної архітектури. Вона формулюється як концепція гарантування та управління інформаційною безпекою ІТ-інфраструктур за фактичним станом під час мінімізації їхнього енергоспоживання.

## Методологія управління безпекою розподілених ІТ-інфраструктур



Рис. 1. Концепція управління безпекою та енергоефективністю розподілених ІТ-інфраструктур

---

Розроблені елементи методології реалізуються за допомогою формулювання (розробки) і використання таких принципів:

1) динамічної компонентно-параметричної конфігурації розподілених ІТ-інфраструктур та їхніх інформаційних систем із мінімізацією енергоспоживання, що реалізується за допомогою формального теоретико-множинного представлення динаміки зміни вхідних і вихідних параметрів ІТ-інфраструктур, їх функціональних характеристик, архітектурних рішень, а також розробки та застосування моделей і методів оцінки ризиків на етапах розгортання та сертифікації;

2) успадкування характеристик, методів і моделей надійності, функціональної та інформаційної безпеки, суть якого полягає в застосуванні оцінних підходів до властивостей інформаційної безпеки і категорювання ІТ-інфраструктур на підставі значень оцінених показників, що мають змінний у часі ймовірнісний характер;

3) динамічного моніторингу і прогнозування параметрів вразливостей компонент розподілених ІТ-інфраструктур для оцінювання й мінімізації ризиків атак на них. Для реалізації цього принципу потрібно розробити підхід щодо дослідження впливу зовнішніх факторів на ймовірність проведення атаки, а також до об'єднання інструментаріїв аналітичних апаратів передбачення часових параметрів вияву вразливостей, проведення атак і зміни зовнішніх факторів ІТ-проєкту;

4) принцип керованої деградації якості розподілених ІТ-інфраструктур в умовах агресивного середовища і втрати компонент. Для його реалізації потрібно розробити:

– теоретико-множинний опис стратегії відновлення й тестування компонент із можливим відкатом до попередньої версії;

– модель допустимих втрат якості обслуговування та їхнього впливу на рейтингові показники ІТ-проєкту через проведення оновлення програмного забезпечення, тестування нового функціоналу, аудиту інформаційної та кібербезпеки.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Виконано аналіз теоретичних і технологічних напрацювань із концептуальних питань управління безпекою організаційно складних систем різних галузей життєдіяльності. Узагальнено визначення безпеки системи як стану з відсутністю неприйнятної ризику завдання шкоди елементам системи, людям, навколишньому середовищу, бізнесу та ін.

Наразі концепції управління безпекою мають спільну складову, що визначає ризик-орієнтований підхід з елементами планування, прогнозування, запобігання, протидії та адаптації системи управління.

Досліджено дуалізм визначення безпеки як “safety” та “security”. Проаналізовано підходи до поєднання цих складових у рамках інтеграційної властивості “гарантоздатність”.



---

Сучасні концепції управління безпекою використовують ієрархічне ранжування властивостей “safety” та “security”, за якого вищою метою є запобігання катастрофічним наслідкам та людським жертвам (складова “safety”), до яких може призвести втручання в інформаційне поле та кіберпростір (складова “security”).

Проаналізовано концепції управління безпекою розподілених ІТ-систем на прикладі критичних інфраструктур, інформаційно-телекомунікаційних систем, систем промислової автоматики, кіберфізичних систем та систем неперервного бізнесу. Визначено, що різні концепції можуть використовувати загальні принципи, такі як управління (менеджмент) ризиком, удосконалення/адаптація системи управління безпекою.

У подальшому необхідно дослідити основні принципи, що входять до складу концепцій управління безпекою розподілених ІТ-інфраструктур.

#### Список використаних джерел:

1. *Yeun R., Bates P., Murray P.* Aviation safety management systems // World Review of Intermodal Transportation Research. 2014. Vol. 5. № 2. P. 168–196.
2. *Kozachenko G., Lyashenko O., Bezbozhnyy V.* Enterprise economic security management conception // ТЕКА Ком. Mot. i Energ. Roln. OL PAN. 2010. 10A. P. 263–270.
3. *Череп О. Г., Степаненко О. В.* Концепція управління економічною безпекою машинобудівних підприємств // Сталий розвиток економіки. 2013. № 4. С. 110–114.
4. *Шаньгин В. Ф.* Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учеб. пособие. Москва: ИД “ФОРУМ” : ИНФРА-М, 2017. 416 с.
5. *Raggad B.* Information Security Management: Concepts and Practice. London: CRC Press, 2010. 868 p.
6. Концепция управления безопасностью в администрации города Перми. URL: <http://docs.cntd.ru/document/428682486>. – 15.10.2019 р.
7. Концепція національної екологічної політики України на період до 2020 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2007 р. № 880-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/880-2007-%D1%80>. – 15.10.2019 р.
8. Концепція // Енциклопедія сучасної України. URL: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=3256](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=3256). – 15.10.2019 р.
9. *Судакова О. І., Медведовська Т. П., Гарбуз С. В., Лутченко О. В.* Управління безпекою взаємодії підприємства з контрагентами, діючими в загальному життєвому просторі // Глобальні та національні проблеми економіки. 2017. № 19. С. 256–261.

---

10. Дудикевич В. Б., Микитин Г. В., Ребець А. І. До проблеми управління комплексною системою безпеки кіберфізичних систем // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі. 2018. № 901. С. 10–21.

11. Брежнев Е. В., Харченко В. С. Методология обеспечения безопасности критических инфраструктур в условиях неопределенности: концепция и принципы // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. 2015. № 1. С. 25–32.

12. Dudykevych V., Mykityn G., Kret T., Rebets A. Security of Cyber-Physical Systems from Concept to Complex Information Security System // Advances in cyber-physical systems. 2016. Vol. 1. № 2. P. 67–75.

13. Гордеев А. А., Харченко В. С. Элементы методологии профилированного оценивания качества программного обеспечения информационных систем // Проблемы інформатизації та упр.: зб. наук. пр. 2014. Т. 3. Вип. 47. С. 24–30.

14. Забезпечення функціональної безпеки критичних інформаційно-керуючих систем: монографія / В. С. Харченко, С. В. Яковлев, О. С. Горбачик та ін.; за ред. В. С. Харченка, С. В. Яковлева. Харків: Константа, 2019. 272 с.

15. ISO/IEC 13335-1: 2004. Information technology – Security techniques – Management of information and communications technology security – Part 1: Concepts and models for information and communications technology security management. URL: <https://www.iso.org/standard/39066.html>. – 15.10.2019 p.

16. IEC TS 62443-1-1:2009. Industrial communication networks – Network and system security – Part 1-1: Terminology, concepts and models. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/7029>. – 15.10.2019 p.

17. ISO/IEC 27000:2018. Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/73906.html>. – 15.10.2019 p.

18. Концепція забезпечення національної безпеки у фінансовій сфері: розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 серпня 2012 р. № 569-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2012-%D1%80>. – 15.10.2019 p.

19. Стратегія кібербезпеки України: Указ Президента України від 15 березня 2016 р. № 96/2016. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> – 15.10.2019 p.

20. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5515>. – 15.10.2019 p.

21. ARP 4761. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment. URL: <https://www.sae.org/standards/content/arp4761>. – 15.10.2019 p.

22. ISO 26262-1:2018. Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/68383.html>. – 15.10.2019 p.

- 
23. CENELEC – EN 50159. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems. URL: <https://standards.globalspec.com/std/1285055/EN%2050159>. – 15.10.2019 p.
  24. IEC 61513:2011. Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5532>. – 15.10.2019 p.
  25. *Gluschke G.* Cyber security policies and critical infrastructure protection. Potsdam: Institute for Security and Safety (ISS) Press, 2018. 388 p.
  26. *Limba T., Plêta T., Agafonov K., Damkus M.* Cyber security management model for critical infrastructure. // *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2017. Vol. 4 (4). P. 559–573.
  27. Cyber security of critical infrastructures / *Maglaras L., Kim K., Janicke H.* and oth. // *ICT Express*. 2018. Vol. 4 (1). P. 42–45.
  28. *Dhawan S.* Information and Data Security Concepts, Integrations, Limitations and Future // *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*. 2014. Vol. 3 (9). P. 9–13.
  29. *Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B.* Dependability and its threats: a taxonomy // In Proc. Of the IFIP 18th World Computer Congress, Kluwer Academic Publishers. 2004. P. 91–120.
  30. *Шубинский И. Б.* Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. Москва: “Журнал Надежность”, 2012. 296 с.
  31. *Малыгин В. Б., Нечаев Е. Е.* Обеспечение безопасности полётов при управлении воздушным движением: учебное пособие. Москва: Изд. Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2011. 86 с.
  32. Концепція глобального управління безпекою. URL: <https://ssbb.com.ua/uk/sistemy-kontrolya-dostupa/sistema-kontrolyu-dostupu/konceptiya-globalnogo-upravleniya-bezopasnostu>. – 15.10.2019 p.
  33. *Carder J.* How to build a SOC with limited resources. Maidenhead: LogRhythm Labs, 2018. 16 p.
  34. ISO/IEC 27031:2011. Information technology – Security techniques – Guidelines for information and communication technology readiness for business continuity. URL: <http://www.iso.org/standard/44374.html> (accessed 15.10.2019).

#### References:

1. Yeun R., Bates P. and Murray P. (2014), “Aviation safety management systems”, posted in *World Review of Intermodal Transportation Research*, vol. 5, No. 2, pp. 168–196.

---

2. Kozachenko G., Lyashenko O. and Bezbozhnyy V. (2010), Enterprise economic security management conception, TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. OL PAN, 2010. 10A, pp. 263–270.

3. Cherep O. G. and Stepanenko O. V. (2013), “*Kontseptsiya upravlinnya ekonomichnoyu bezpekoyu mashynobudivnykh pidpryyemstv*” [“The concept of economic safety management of machine-building enterprises”], Journal *Stalyy rozvytok ekonomiky* [Sustainable development of economy], vol. 4, pp. 110–114.

4. Shangin V. F. (2017), *Informatsionnaya bezopasnost' komp'yuternykh sistem i setey* [Information Security of Computer Systems and Networks], Moscow, Press Publishing House “FORUM”: INFRA-M, 416 p.

5. Raggad B. (2010), Information Security Management, Concepts and Practice, London: CRC Press, 868 p.

6. *Kontseptsiya upravleniya bezopasnost'yu v administratsii goroda Permi*. [Security Management Concept in Perm City Administration], available at: <http://docs.cntd.ru/document/428682486> (accessed 15.10.2019).

7. KМУ (2007), *Kontseptsiya natsional'noyi ekolohichnoyi polityky Ukrayiny na period do 2020 roku* [The concept of national environmental policy of Ukraine for the period up to 2020], the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 8, No. 880-p, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/880-2007-%D1%80> (accessed 10.15.2019).

8. *Kontseptsiya* [Concept], *Entsyklopediya Suchasnoyi Ukrayiny* [Encyclopedia of Such Ukraine], available at: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=3256](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=3256) (accessed 15.10.2019).

9. Sudakova O. I., Medvedovskaya T. P., Garbuz E. V. and O. V. Lutchenko et al (2017), “*Upravlinnya bezpekoyu vzayemodiyi pidpryyemstva z kontrahentamy, diyuchymy v zahal'nomu zhyttyevomu prostori*” [“Management of security of interaction of the enterprise with the counterparties operating in the common living space”], Journal *Hlobal'ni ta natsional'ni problemy ekonomiky* [Global and national problems of economy], vol. 19, pp. 256–261.

10. Dudykevych V. B., Mykytin G. V. and Rebetets' A. I. (2018), “*Do problemy upravlinnya kompleksnoyu systemoyu bezpeky kiberfizychnykh system*” [“On the problem of control of complex security system of cyberphysical systems”], Bulletin of the National university “Lviv Polytechnic”. Information systems and networks, vol. 901, pp. 10–21.

11. Brezhnev Ye. V. and Kharchenko V. S. (2015), “*Metodologiya obespecheniya bezopasnosti kriticheskikh infrastruktur v usloviyakh neopredelenosti: kontseptsiya i printsipy*” [“Methodology for Critical Infrastructure Safety in Uncertainty: Concept and Principles”], Journal *Radíoyelektronni i komp'yuterni sistemi* [Radioelectronic and Computer Systems], vol. 1, pp. 25–32.

- 
12. Dudykevych V., Mykytyn G., Kret T. and Rebets A. (2016), “Security of Cyber-Physical Systems from Concept to Complex Information Security System”, *Advances in cyber-physical systems*, vol. 1, No. 2, pp. 67–75.
  13. Gordeyev A. A. and Kharchenko V. S. (2014), “*Elementy metodologii profileorivirovannogo otsenivaniya kachestva programmnogo obespecheniya informatsionnykh sistem*” [“Elements of methodology of profile oriented evaluation of software quality of information systems”], a collection of scientific works *Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya* [Problems of informatization and management], t. 3, vol. 47, pp. 24–30.
  14. Kharchenko V.S., Yakovlev S.V., Gorbachik O.S. and oth. (2019), *Zabezpechennya funktsional'noyi bezpeky krytychnykh informatsiyno-keruyuchykh system* [Functional safety of critical information and control systems], monograph. Kharkiv: Constant, 272 p.
  15. ISO/IEC 13335–1: 2004, Information technology – Security techniques – Management of information and communications technology security – Part 1: Concepts and models for information and communications technology security management, available at: <https://www.iso.org/standard/39066.html> (accessed 51.10.2019).
  16. IEC TS 62443–1–1:2009, Industrial communication networks – Network and system security – Part 1–1: Terminology, concepts and models, available at: <https://webstore.iec.ch/publication/7029> (accessed 15.10.2019).
  17. ISO/IEC 27000:2018, Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary, available at: <https://www.iso.org/standard/73906.html> (accessed 15.10.2019).
  18. KMU (2012), *Kontseptsiya zabezpechennya natsional'noyi bezpeky u finansoviy sferi* [The concept of ensuring national security in the financial sphere], Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 15, No. 569-p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2012-%D1%80> (accessed 10.15.2019).
  19. President of Ukraine (2016), *Stratehiya kiberbezpeky Ukrayiny* [Ukraine's Cybersecurity Strategy], Presidential Decree No. 96/2016 of March 15, available at: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> (accessed 15.10.2019).
  20. IEC 61508-1:2010, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Part 1: General requirements, available at: <https://webstore.iec.ch/publication/5515>. (accessed 15.10.2019).
  21. ARP 4761, Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment, available at: <https://www.sae.org/standards/content/arp4761/> (accessed 15.10.2019).
  22. ISO 26262-1:2018, Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary, available at: <https://www.iso.org/standard/68383.html> (accessed 15.10.2019).

---

23. CENELEC – EN 50159, Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems, available at: [https://standards.globalspec.com/std/1285055/ EN%2050159](https://standards.globalspec.com/std/1285055/EN%2050159) (accessed 15.10.2019).

24. IEC 61513:2011, Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems, available at: <https://webstore.iec.ch/publication/5532> (accessed 15.10.2019).

25. Gluschke G. (2018), Cyber security policies and critical infrastructure protection. Potsdam: Institute for Security and Safety (ISS) Press, 388 p.

26. Limba T., Plêta T., Agafonov K. and Damkus M. (2017), “Cyber security management model for critical infrastructure.”, *Journal Entrepreneurship and Sustainability Issues*, vol. 4 (4), pp. 559–573.

27. Maglaras L., Kim K. and Janicke H. et al. (2018), “Cyber security of critical infrastructures”, *Journal ICT Express*, vol. 4 (1), pp. 42–45.

28. Dhawan S. (2014), “Information and Data Security Concepts, Integrations, Limitations and Future”, *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*, vol. 3 (9), pp. 9–13.

29. Avizienis A., Laprie J.-C. and Randell B. (2004), “Dependability and its threats: a taxonomy”, In *Proc. Of the IFIP 18th World Computer Congress*, Kluwer Academic Publishers, pp. 91–120.

30. Shubinskiy I. B. (2012), *Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem. Metody analiza* [Functional reliability of information systems. Methods of analysis], Moscow, Press Reliability Magazine, 296 p.

31. Malygin V. B. and Nechayev Ye. Ye. (2011), *Obespecheniye bezopasnosti polotov pri upravlenii vozdushnym dvizheniyem* [Flight safety in air traffic control], Tutorial, Moscow, Press Moscow State Technical University of Civil Aviation, 86 p.

32. *Kontseptsiya hlobal'noho upravlinnya bezpekoyu* [Global security management concept, available at: <https://ssbb.com.ua/uk/sistemy-kontrolya-dostupa/sistema-kontrolyu-dostupu/koncepciya-globalnogo-upravleniya-bezopasnostu/> (accessed 15.10.2019)

33. Carder J. (2018), How to build a SOC with limited resources. Maidenhead: LogRhythm Labs, 16 p.

34. ISO/IEC 27031:2011, Information technology – Security techniques – Guidelines for information and communication technology readiness for business continuity, available at: <https://www.iso.org/standard/44374.html> (accessed 15.10.2019).

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-6>

UDC 004.738:004.94

**O. N. Martyniuk**, PhD of Technical Sciences, Associate Professor of the Computer Intellectual Systems and Networks Department, Odessa National Polytechnic University  
**T. Ahmesh**, Master, Graduate Student of the Computer Intellectual Systems and Networks Department, Odessa National Polytechnic University  
**O. V. Drozd**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Computer Intellectual Systems and Networks Department, Odessa National Polytechnic University  
**O. N. Molotkov**, PhD of Technical Sciences, Associate Professor of the Computer Sciences and Software Engineering Department, University of Customs and Finance  
**K. V. Smoktii**, PhD in Economics, Associate Professor of the Information Technologies Department, Vasyl' Stus Donetsk National University

#### **SINGLE-LEVEL METHOD OF BEHAVIORAL ONLINE TESTING OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS**

*The article considers a single-level method of behavioral online testing with recognition of the reference behavior of DIS. The method features are the evolutionary search for reference behavior in the flow of DIS functioning, parallelization of operations of check recognition and evolutionary development of check populations. The method allows to reduce the complexity and time of check, to make it compatible with the real functioning of the DIS.*

*Key words: behavioral online testing; recognizing experiments; Petri nets recognized behavior; identifiers; check evolution system.*

*Тестування та діагностика складних розподілених інформаційних систем (PIS), що забезпечують їм необхідний рівень надійності функціонування та працездатності, часто повинні виконуватися на системному, інформаційному та функціональному рівнях, які представляють поведінку PIS.*

© O. N. Martyniuk, T. Ahmesh, O. V. Drozd, O. N. Molotkov, K. V. Smoktii, 2019

---

Ключові слова: *поведінковий робочий контроль; експерименти розпізнавання; розпізнавання поведінки мереж Петрі; ідентифікатори; контрольні еволюційні системи.*

*Рассматривается одноуровневый метод поведенческого рабочего контроля с распознаванием эталонного поведения РИС. Особенности метода являются эволюционный поиск эталонного поведения в потоке функционирования РИС, распараллеливание операций контрольного распознавания и эволюционного развития контрольных популяций. Метод позволяет сократить сложность и время контроля, сделать его совместимым с реальным функционированием РИС.*

Ключевые слова: *поведенческий рабочий контроль; эксперименты распознавания; распознавания поведения сетей Петри; идентификаторы; контрольные эволюционные системы.*

**Problem formulation.** Complicating computer networks, the emergence of new distributed information technologies and systems (DIS) [1], the growth of their speed, information and computing power [2], accompanied by the expansion of implementation areas and increased criticality [3] and the rapid development of DIS reliability tools [4]. In such means, automated systems of technical diagnostics occupy the most important place [5], including, among other things, subsystems of online and offline testing and diagnosis [6].

**Analysis of recent researches and publications.** To date, a number of effective models and methods of online and offline testing and diagnosis have been developed, based on the use of structural, informational, hardware, and functional features of existing and promising DIS and their components [8–10].

However, this use is seriously complicated by the trends of increasing distribution and intellectualization of DIS [1], a sharp increase in the degree of component integration and concealment of the internal structure [8] of the VLSI, FPGA, microprocessors [11]. As a result, the methods of online and offline testing and diagnosis of real DIS are shifted to the level of system, information, functional specifications [12], and their computational becomes NP-complex [13], especially when the appearance of agent properties – autonomy, mobility, intellectuality, co-operativeness [14] for components of DIS. As a result, systemic, decompositional, behavioral, information-functional [15–17], as well as intelligent neural and evolutionary-genetic [18; 19] methods are developed intensively. In most cases, integrated methods [20] and their based technologies of online and offline testing and diagnosis are used to achieve greater effect.

The decompositional approach, in particular, makes significant use of information about the distributed spatial structure of DIS [17], but in most cases the



---

verification does not involve information about the temporary multi-level structure of DIS, of course. appearing in the process of their end-to-end design. In this case, the testing and diagnostic process can be simplified by presenting a special build for the hierarchies of nested checks, which for offline testing and diagnosis is fairly regular [21] (usually going from basic simple checks to complex checks). However, in behavioural testing, which involves solving the problem of background (passive) recognition of reference behaviour in the functioning of the object being tested, such a regular assembly of checks is not possible, the assembly is done in random, subordinate to the basic functioning of the mode, and repeatedly changes direction, both from simple checks to complex (ascending) and from complex to simple (downward). End-to-end multi-level organization of behavioural testing, both online and online, in addition to this imposes new conditions of hierarchical compatibility and inheritance (or not destruction) of multi-level checks (their broadcasts down and encapsulations up).

In this regard, the multi-level decompositional bi-directional assembly of checks in the recognition of reference behavior in behavioral online and offline testing and diagnosis of DIS is of interest.

**Purpose of the article.** The purpose of the article is to develop an evolutionary method of behavioural online testing based on a behavioural check model of DIS based on Petri nets by determining the evolutionary mechanisms of identified check behaviour.

**Main material.** The behavioural work of DIS presented in this paper is based on the recognition of the reference behaviour of DIS and its components in accordance with the conditions determined by the formal model of behavioural online and offline testing [22]:

$$cS=(\hat{W}, Pr, Ci, Cp, Sg_{ta}, Cc_t). \quad (1)$$

The model is based on the extended interval-probability properties of the Petri network and represents special objects –  $\hat{W}$  – registered behavior of the object being inspected, checked reference properties  $Pr$ , reference behavioral identifiers  $Ci$ , check primitives  $Cp$  and fragments  $Cf$ , as well as special operations – identification (as finding), identification as coincidence (further coincidence), determinization and relationships – compatibility/incompatibility, ordering, uncertainty/indifference for them in signature  $Sg_{ta}$ , some check strategy  $Cc_t$ . Special objects form a carrier set, and special operations and relationships, replenished with multiple and vector operations, form signatures respectively operations and relationships of the algebraic system – a formal model of behavioral DIS work control, which determines the general conditions of its conduct in a particular method. Consequently, the initial carrier set, the signatures of operations and the

---

relationship of the formal model of work control should be formed at the preprocessor stage of behavioral work control. Consequently, the initial carrier set, the signatures of operations and the relationship of the formal model of online testing should be formed at the preprocessor stage of behavioral online testing.

The background mode of behavioral check recognition allows only the observation of DIS (registration of input and output events in the respective input and output alphabets), and not control the flow of its all events. Therefore, the background mode should perform a full check analysis of current event recognition on the current carrier set at the main stage, with the possibility of using the results of previous experience. Moreover, the formation of recognized behavior, as noted above, should be performed in a random, subordinate mode to the basic functioning of DIS, both on the basis of assembling simple checks in complex, and on the basis of disassembly of complex checks in simple, with multiple changes in this direction. These features of recognition analysis lead to the formation of many variants of current checks and assume their current ranking by the criteria of completeness, length and multiple of online testing, as well as the distribution of these options for execution. Thus, in the construction of the recognition process there is both a random component of the input-weekend event flow, and a purposeful ranking according to the specified criteria. These properties determine the feasibility of evolutionary optimization by special evolutionary check system  $Ce$  [19] in the method of forming recognized behavior  $Cc_t=Ce$ :

$$Ce = (\hat{W}, Ex, Lx, Sg, Cf^f). \quad (2)$$

In the system  $Ce$   $\hat{W}$  – recorded population behavior,  $Ex$  – check primitives-individuals of evolution,  $Lx$  – binding primitives-individuals of evolution,  $Sg$  – signature of evolutionary operations of mutation and crossover, evolutionary function of fitness and choice,  $Cf^f$  – final a set of check fragments, that meet the goals and requirements for completeness, length and multiplicity.

**One-level behavioral online testing method.** In accordance with the general strategy of the check analysis, the procedure of localized single-level agent-based behavioral online testing DIS evolutionarily builds checks of properties  $Pr$  in registered behavior  $\hat{W}$  based on reference behavioral identifiers  $Ci$ , control primitives  $Cp$  and fragments  $Cf$  [22] using special operations and relationships of signature  $Sg_{ta}$  during the main functioning of DIS. The result of the check establishes the correspondence of the component Petri subnets (PSN) – the reference models of the form  $S(f)$  for the checked DIS components and the actual models of the form  $S(f)^{\wedge}$  for these components [22].

The preparatory stage of the method based on the formal  $cS$  behavioral check model forms the initial carrier set – behavioral identifiers  $Ci$  and reference

---

initial check fragments  $Cf_0 = \cup_{i \in I} cf_{0i}$ , the latter defined as appropriately indivisible at the domain level. For the model  $cS$ , it is possible to talk about check primitives  $Cp$ , which may form a subset of the initial check fragments  $Cp \subseteq Cf_0$ .

The main stage of the method during the main operation of some verifiable joint venture  $S(f)^{\wedge}$  for fragments of the current fixed behavior  $W^{\wedge} = \cup_{j \in J} w_j^{\wedge}$ , in particular, the initial  $W_0^{\wedge} = \cup_{j \in J} w_{0j}^{\wedge}$  and the current set of modified check fragments  $Cf = \cup_{i \in I} cf_i$  ( $Cf_0 = \emptyset$ ) based on the model of behavioral online testing  $cS$  performs an evolutionary search for the next identifiers from  $Ci$ , initial check fragments from  $Cf_0$ , in particular, check primitives from  $Cp$ . Formation of a new current set of modified check fragments  $Cf' = \cup_{i \in I} cf'_i$ , as a result of markings found by identifiers from  $Ci$  positions/transitions, as well as markings of initial check fragments from  $Cf_0$ , in particular,  $Cp$ .

Specifically, test relationships compatibility/incompatibility check into the check fragments from the current set of  $Cf$  for positions/transitions, where identifiers from  $Ci$ , initial check fragments from  $Cf_0$  and check primitives from  $Cp$  are found, when performing an operation of identification  $\alpha$ . Further, operations coincidence  $\beta$  and determinization  $\gamma$  are performed [21]. As result, a revamped set  $Cf'$  of modified current check fragments is being formed in the current previously recorded behavior  $W^{\wedge} = \cup_{j \in J} w_j^{\wedge}$ . However, during these search-identification  $\alpha$ , coincidence  $\beta$  and determinization  $\gamma$  in the formation of the updated set of  $Cf'$  in the current fixed behavior of the  $W^{\wedge} = \cup_{j \in J} w_j^{\wedge}$ , which contains check new fragments from the updated set of  $Cf'$ , this behavior  $W^{\wedge}$  can be updated again/replenished itself to  $W^{\wedge} = \cup_{j \in J} w_j^{\wedge}$ . This is the due to continued basic functioning of DIS, with  $W^{\wedge} \leq W^{\wedge} \leftrightarrow (\forall w_j^{\wedge} \in W^{\wedge} (\exists w_{0j}^{\wedge} \in W^{\wedge} (w_{0j}^{\wedge} = w'' w_j^{\wedge} w''' \& w''', w''' \in (X \times Y) * \cup e))) \& (|W^{\wedge}| \leq |W^{\wedge}|)$ . This circumstances necessitate another evolutionary step of search-identification  $\alpha$ , coincidence  $\beta$  and determinization  $\gamma$  for  $W^{\wedge}$ .

As noted, behavioral online testing of separate component of DIS – Petri net (PN)  $S(f)$  – is performed on the base of a pseudo-random purposeful search from an evolutionary system  $Ce$  [20] with a modified check signature of operations and functions (2).

Behavioral check is applied signature of evolutionary component operations and functions on the reference positions/transmissions, containing  $\mu$  – partial binary mutation operation based on some, in particular, pseudo-random, substitution/expansion of own recognized behavior from  $Cf$  some other compatible (adjacent in reference positions) external (infectious) for  $S(f)$  – behavior from  $Cf'$ ;  $\kappa$  – partial binary multipoint operation of crossover, based on some replacement/extension of own behavior from  $Cf$  compatible (adjacent in reference positions) behavior from  $Cf'$ ;  $\phi$  – partial binary operation of immunity, based on a search for an earlier, preserved mutational experience;  $\varphi$  – three-core fitness-

---

function for new check fragments – results of mutation and crossover operations;  $\sigma$  – three-core function of choice of operands for mutation and crossover operations.

In the evolutionary operations of the crossover  $\kappa$  and, to a lesser extent, mutations  $\mu$  are used behavioral control and recognition operations, namely identification  $\alpha$ , coincidence  $\beta$ , determinization  $\gamma$ .

The functions of fitness  $\varphi$  and, above all, the choice  $\sigma$ , taking into account the necessary criteria of completeness and complexity of check, can have control parameters, external in relation to the check evolution, which are determined independently of it.

The method of single-level behavioral online testing on based of evolutionary search implements behavioral check functions and evolutionary functions, allows parallelization, in particular, in the “wave” search in width – multi-process (multi-thread) and multi-agent.

There are two stages in the method - preparatory and basic:

Preparatory stage

1. At the preparatory stage (with respect to the online testing) for the reference PN  $S(f)$  (or some PSN from PN  $S(f)$ ) simultaneous and independent of each other zero 1st and 2nd processes (or threads) are launched, which:

a) forms the 1st preparatory process (or thread) to highlight the verifiable properties  $Pr$  for PN  $S(f)$ , defined as  $F$  and  $S$  functions, as well as a priori-set indivisible reference fragments of behavior  $\emptyset \subseteq C_f^{Pr}$ ;

b) reshapes at the end of the allocation of properties  $Pr$  – 1st process (new – at the end of the first process from the previous item a)), the 2nd, 3rd, ...,  $i$ -th preparatory processes (or streams), to synthesize identifiers  $C_i$  of support positions and transitions during the parallel evolutionary, partial or complete construction of a special automata Rabin-Scott  $H(S(f))$ , as a special graph of multiple, achievable markings for PN  $S(f)$  based on its behavior in the characters of the input (manager)  $X$  and output (observed)  $Y$  alphabets;

c) reworks at the end of the synthesis of  $C_i$  – 1st preparatory process (or thread) (new process – at the end of previous processes from the item (b)) to synthesize check 0-primitives from  $C_p$  (as the inclusion of the received identifiers  $C_i$ , associated with incidental identifiable support positions and transitions), 2nd, 3rd, ...  $i$ -th preparatory processes (or threads) for the synthesis of check primitives from  $C_p$  during the parallel evolutionary application of the coincidence-crossover operation for sets of pairs of checked properties  $Pr$  (item 1a) and identifiers  $C_i$  (item 1b), associated with common, incidentally for its, identifiable support positions and transitions;

d) independent of the steps 1a – 1c and simultaneous with them – 1th preparatory process (or thread) takes (registers) a priori pre-set initial behavior  $W_0^\wedge$  of verifiable model  $S(f)^\wedge$  – initial unrecognized check fragments of behavior,

---

prior to the beginning of the check, and  $\emptyset \subseteq W_0^\wedge$ , at zero step, the current behavior  $W^\wedge$  is accepted equal to the initial  $W^\wedge = W_0$ .

Main stage.

2. At the current moment of event time in a reed reconditioning iteration of procedures by 1th main process (or thread) (preparatory from Step 1d) records the updated behavior of the  $W^\wedge \leftarrow W' \cup W^\wedge$  verifiable model  $S(f)^\wedge$ , where  $W'$  is a new recorded behavior for the period of the last previous steps of the procedure, as preparatory 1a-1c (at the first performance of the item 2, if there have not been any,  $W' = \emptyset$ ), and performed on previous iterations of the 3-5 item procedure, followed by a rollback to item 2.

3. At the current set of check fragments of the functioning of model  $S(f)$ , registered before p.3, and the current set of its already confirmed positions  $P^\wedge$  and transitions  $T^\wedge$  (support in  $W^\wedge$ ), named (identified) in  $W^\wedge$  to form the current check fragments  $Cf$ , the 2nd parallel process (or thread) begins to perform parallel (branching), background for the main functioning of DIS, eventfully initiated from each observed input-output event, 3rd, 4th, ..., i-th evolutionary processes (or threads) of recognition (with immediate transmission by appropriate processes (or threads) of item 3a–3c successful results to item 4):

a) recognition (identification ( $\alpha \in Sg_l$ )) of current identifiers  $Ci^\wedge$  for new, as yet unconfirmed for this moment (i.e. not yet supported in  $W$ ) current positions  $P^\wedge$  and transitions  $T^\wedge$ , as well as the corresponding naming of these recognized positions  $P^\wedge$  and transitions  $T^\wedge$ , as a result of this new  $Cf^\wedge$  and updated current check fragments  $Cf^\wedge \leftarrow Cf^\wedge \cup Cf^\wedge$ , as an updated current markup of input behavior  $W^\wedge \leftarrow W^\wedge \cup W^\wedge$ ;

b) recognition of related (incidental) with the new recognized positions  $P^\wedge$  and the transitions  $T^\wedge$  of the current unconfirmed check primitives from  $Cp^\wedge$  and the verifiable properties from  $Pr^\wedge$ , the definition of coverage of a all set of reference primitives  $Cp$  and properties  $Pr$  by the recognized primitives and properties, both this step and all steps to this moment, switching to item 8, if all processes (or threads) are finished or coverage is fully;

c) recognition of the previously confirmed current transporting (connecting) paths  $Cl^\wedge$  from the updated current  $Cf^\wedge$  and  $W^\wedge$  to the unconfirmed (not yet supported in the updated current  $W^\wedge$ ) positions and transitions, namely: confirmed (already reference) updated current steps-primitives from  $Cp^\wedge$  and updated current shortest paths from  $Cl^\wedge$ .

4. For the current set of updated check fragments  $Cp^\wedge$ , the next i+1th parallel process begins to execute eventfully initiated (as registration), parallel (branching), background for the main functioning of DIS, all sorts at this moment, evolutionary i+2-th, i+3-th, ..., i+j-th-processes (or streams) for conversion opera-

---

tions from the signature  $Sg_I = \{\alpha, \beta, \gamma\}$  (the recognition-identification  $\alpha$  of supported positions and transitions, coincidence  $\beta$  of supported positions and transitions, determinization  $\gamma$  after coincidence  $\beta$ ) in several iterations, determined for  $\alpha, \beta$  and in general probabilistic for  $\gamma$ , to the moment, where their application does not give new fragments to the  $\hat{W}$ .

5. For still unfulfilled processes (or threads) from  $i+j$ -th in items 3, 4 of the regular  $i+j+1$ -th parallel process begins to perform eventfully initiated (as registration), parallel (branching), background for basic functioning of DIS, all sorts of at this moment the processes (or threads) of waiting for the consistent completion of the  $i+j$ -th processes (or threads) with their results at the exit of item 4, if the conversions  $\alpha, \beta, \gamma$  not empty and performed by any processes (or threads) of paragraph 4, then for them the  $i+j+1$ -th process (or thread) performs an immediate translation to item 2.

6. In the  $i+j+2$ -th (reformed 1-st) process (or thread) determines the final achieved current coverage of set reference check primitives  $Cp$ .

7.  $i+j+2$ -th (reformed 1-st) parallel process (or thread) pre-stops work (all current processes (or threads) are completed at this point), wait appearance of a new input-output event within the first specified time period and goes to item 2, when it appears.

8.  $i+j+2$ -th (reformed 1-st) parallel process (or thread) pre-stops behavioral periodic check, when covering a all set of reference check primitives  $Cp$  with a reset of recognition results, confirming of compliance  $S(f)^\wedge$  and reference  $S(f)$  models, after the second specified period of time, possibly zero, again goes to item 2.

Evolutionary pseudo-random targeted search in most processes (or threads) allows to achieve good results in most cases significantly faster, than the upper estimate of  $NP$ -computational component, for  $S(f)$ , complexity of deterministic method.

**Estimating the dimension of the method.** Larger than dimensions for PN  $S(f)$  are ratings for the Rabin-Scott automata  $h(S(f))$ , which serves to build and analyze identifiers  $Ci$  of positions and transitions.

For a simple (not multiple) Rabin-Scott automata  $h(S(f))$ , the number of vertices is no more, than  $mn(n-1)$ , the upper limit of the total number of fields for vertices in  $h(S(f))$  is  $2mn(n-1)$ , the number of arcs does not exceed  $((lm)^n - 2)$ , the upper estimate of the total number of fields for arcs in  $h(S(f))$  is  $2((lm)^n - 1)$ . Here's the  $n = |P| + |T|$ ,  $m = |X|$ ,  $l = |Y|$ . The upper estimate of the total number of fields in  $h(S(f))$  is  $2(mn(n-1) + (lm)^n - 1)$ . The longest simple identifier also has a length of  $n-1$ .

For the Rabin-Scott multiple automata  $h(S(f))$ , the number of vertices is the same, as for the simple one, i.e. the number of vertices is no more than  $mn(n-1)$ , the upper limit of the total number of fields for arcs in  $h(S(f))$  is  $2mn(n-1)$ , the number of arcs is greater, but does not exceed  $(lm2^{n-1})^n - 1$ , the upper estimate of the total

---

number of fields for tops in  $h(S(f))$  is  $2((lm2^{n-1})^n - 1)$ . The top estimate of the total number of fields in  $h(S(f))$  is  $2(mn(n-1) + (lm2^{n-1})^n - 1)$ . The longest multiple identifier has a total length, also equal to  $n - 1$ .

The empirical experience of using Rabin-Scott automata  $h(S(f))$  for real DIS component models has shown, that simple identifiers are sufficient in most cases. Still, analysis tasks, based on Rabin-Scott, are *NP*-complex.

Comprehensive upper estimate of the total number of elementary operations in behavioral online testing for PN  $S(f)$  with simple identifiers is:

$$c \leq ((lm)^n 2^{n-1})(2n+3) - 3 + n(2m+1). \quad (3)$$

Empirical experience of applying evolutionary methods in recognising experiments for PN  $S(f)$  showed an average decrease in the given estimate in the statistical majority of cases compared to deterministic methods in  $\log_2(2nm)$  times.

The average empirical estimate of the number of elementary operations in behavioral online testing for PN  $S(f)$  with simple identifiers is:

$$c \leq (((lm)^n 2^{n-1})(2n+3) - 3 + n(2m+1) + m(n-1)(2n+1)) / \log_2(2nm). \quad (4)$$

Experimental tests of basic behavioral check procedures implementing the developed component method were conducted for medium-complexity DIS facilities and components. For selected objects and error class, comparing experiments for procedures based on deterministic and evolutionary methods for DIS “Smart Home” confirmed a near 90 % decrease in the computational complexity of check (down to 5,000 conditional transitions) and timer (down to 0.1 hours of time), when using an I7-based computer.

These results are in line with analytical estimates. The reduction in check is achieved on the special components of the “Smart Home” DIS, which has partial certainty of functions.

#### **Conclusions and further researches directions.**

These method, estimates and results of the experiment show that behavioral online testing tasks are achievable by using the proposed method for simple and medium-sized models with complexity of individual DIS components. This fact makes it possible to develop decompositional methods on its basis.

Thus, the component method of behavioral online testing of DIS in an expanded class of component errors with the features of component evolutionary development of the population of control fragments reduces computational complexity behavioral work control on  $\log_2(2nm)$  times in comparison with the automata deterministic method of behavioral online testing.

---

### List of sources used:

1. *Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G.* Distributed Systems: Concepts and Design. 5th ed. Boston: Addison-Wesley, 2011. 1067 p.
2. *Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V., Phillips C.* Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions // IX International Conference of Digital Technologies. Zhilina, Slovak Republic, 2013. P. 191–197.
3. *Hahanov V., Litvinova E., Chumachenko S.* Cyber Physical Computing for IoT-driven Services // Springer. 2017. 279 p.
4. *Drozd O., Antoshchuk S., Martinuk A., Drozd J.* Increase in reliability of on-line testing methods using natural time redundancy // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Moscow, Russia, 2010. P. 223–229.
5. *Romankevich V. A.* Self-testing of multiprocessor systems with regular diagnostic connections // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78, Iss. 2. P. 289–299.
6. *Drozd O., Antoshchuk S., Rucinski A., Martinuk A.* Parity prediction method for on-line testing a Barrel-shifter // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Lviv, Ukraine, 2008. P. 208–213.
7. *Hahanov V., Litvinova E., Obrizan V., Gharibi W.* Embedded method of SoC diagnosis // Elektronika ir Elektrotechnika. 2008. No 8. P. 3–8.
8. *Biswas A., Mukhopadhyay S., Patra A.* Formal Approach to On-Line Monitoring of Digital VLSI Circuits: Theory, Design and Implementation // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. 2005, October. Vol. 20. P. 503–537.
9. *Petty Mikel D., Kim Jungyoon, Barbosa Salvador E., and Pyun Jai-Jeong* Software Frameworks for Model Composition // Modelling and Simulation in Engineering. 2014. Vol. 2014. 18 p. URL:[https://www.researchgate.net/publication/270629314\\_Software\\_Frameworks\\_for\\_Model\\_Composition](https://www.researchgate.net/publication/270629314_Software_Frameworks_for_Model_Composition)
10. *Gomes L., Fernandes J. M.* Behavioral modeling for embedded systems and technologies: applications for design and implementation // Information science reference, Hershey, New York, 2010. 466 p. URL:<http://tierra.aslab.upm.es/documents/books/Gomes-BehavioralModeling.pdf>
11. *Drozd O., Drozd M., Martynyuk O., Kuznietsov M.* Improving of a Circuit Check ability and Trustworthiness of Data Processing Results in LUT-based FPGA Components of Safety-Related Systems // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 1844. P. 654–661.
12. *Gomes L., Fernandes J. M.* Behavioral Modeling for Embedded Systems and Technologies: Applications for Design and Implementation, 2010. 494 p.



- 
13. *Grindal M.* Handling Combinatorial Explosion in Software Testing // Printed by LiU-Tryck, Linköping, 2007. 89 p.
  14. *Stuart J. R., Norvig P.* Artificial Intelligence: a Modern Approach // Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey, 2010. 1095 p.
  15. *Kudryavtsev V. B., Grunskii I. S., Kozlovskii V. A.* Analysis and synthesis of abstract automata // Journal of Mathematical Sciences. 2010. Vol. 169. Iss. 4. 2010. P. 481–532.
  16. *Schamai W.* Model-Based Verification of Dynamic System Behavior against Requirements Method, Language, and Tool // Linköping University SE-581 83 Linköping, Sweden Linköping, 2013. 257 p.
  17. *Мартынюк А. Н., Тамим Ахмеш, Мартынюк Д. А., Дрозд А. В.* Поведенческий рабочий контроль сетевых компьютерных систем // Электротехнические и компьютерные системы. 2018. № 28 (104). С. 201–207.
  18. *Skobtsov Yu. A., Skobtsov V. Yu.* Evolutionary test generation methods for digital devices // Design of Digital Systems and Devices [eds.: M. Adamski et al.]. Berlin: Springer Verlag, 2011. P. 331–361. (Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 79).
  19. *Martynyuk O., Sugak A., Martynyuk D., Drozd O.* Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems // Proc. 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Bucharest, Romania, 2017. P. 888–893.
  20. *Classen A., Cordy M., Schobbens P.-Y. et al.* Featured Transition Systems: Foundations for Verifying Variability-Intensive Systems and Their Application to LTL Model Checking // TSE, 39(8):1069–1089, Aug. 2013.
  21. *Sugak H., Martynyuk O., Drozd A.* Models of the Mutation and Immunity in Test Behavioral Evolution // Proc. 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Warsaw, Poland, 2015. P. 790–795.
  22. *Martynyuk O., Drozd O., Tamim Ahmesh et al.* Hierarchical Model of Behavior On-line Testing for Distributed Information Systems // The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. Vol. 2. 18–20 September 2019, Metz, France. P. 724–729.

#### References:

1. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T. and Blair G. (2011), “Distributed Systems: Concepts and Design”, 5th ed. Boston: Addison-Wesley, 1067 p. [USA].

---

2. Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V. and Phillips C. (2013), “Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions”, IX International Conference of Digital Technologies, Zhilina, pp. 191–197 [Slovak Republic].

3. Hahanov V., Litvinova E. and Chumachenko S. (2017), “Cyber Physical Computing for IoT-driven Services”, journal Springer, 279 p. [USA].

4. Drozd O., Antoshchuk S., Martinuk A. and Drozd J. (2010), “Increase in reliability of on-line testing methods using natural time redundancy”, journal Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Moscow, pp. 223–229 [Russia].

5. Romankevich V. A. (2017), “Self-testing of multiprocessor systems with regular diagnostic connections”, journal Automation and Remote Control, vol. 78, iss. 2, pp. 289–299 [Russia].

6. Drozd O., Antoshchuk S., Rucinski A. and Martinuk A. (2008), “Parity prediction method for on-line testing A Barrel-shifter”, Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Lviv, pp. 208–213 [Ukraine], DOI: 10.1109/EWDTS.2008.5580162

7. Hahanov V., Litvinova E., Obrizan V. and Gharibi W. (2008), “Embedded method of SoC diagnosis”, journal Elektronika ir Elektrotechnika, vol. 8, pp. 3–8 [Russia].

8. Biswas A., Mukhopadhyay S. and Patra A. (2005, October), “Formal Approach to On-Line Monitoring of Digital VLSI Circuits: Theory, Design and Implementation” Journal of Electronic Testing: Theory and Applications, vol. 20, pp. 503–537.

9. Petty Mikel D., Kim Jungyoon, Barbosa Salvador E., and Pyun Jai-Jeong (2014), “Software Frameworks for Model Composition”, journal Modelling and Simulation in Engineering, vol. 2014, 18 p., available at: [https://www.researchgate.net/publication/270629314\\_Software\\_Frameworks\\_for\\_Model\\_Composition](https://www.researchgate.net/publication/270629314_Software_Frameworks_for_Model_Composition)

10. Gomes L. and Fernandes J. M. (2010), Behavioral modeling for embedded systems and technologies: applications for design and implementation, in Information science reference, Hershey - New York, 466 p. [USA], available at: <http://tierra.aslab.upm.es/documents/books/Gomes-BehavioralModeling.pdf>

11. Drozd O., Drozd M., Martynyuk O. and Kuznietsov M. (2017), “Improving of a Circuit Check ability and Trustworthiness of Data Processing Results in LUT-based FPGA Components of Safety-Related Systems”, journal CEUR Workshop Proceedings, vol. 1844, pp. 654–661.

12. Gomes L. and Fernandes J. M. (2010), Behavioral Modeling for Embedded Systems and Technologies: Applications for Design and Implementation, press IGI Global, 494 p.

- 
13. Grindal M. (2007), Handling Combinatorial Explosion in Software Testing, Printed by LiU-Tryck, Linköping, 89 p. [Sweden].
  14. Stuart J. R. and Norvig P. (2010.), Artificial Intelligence: a Modern Approach, Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey, 1095 p. [USA].
  15. Kudryavtsev V. B., Grunskii I. S. and Kozlovskii V. A. (2010), Analysis and synthesis of abstract automata, Journal of Mathematical Sciences, vol. 169, iss. 4, pp. 481–532.
  16. Schamai W. (2013), Model-Based Verification of Dynamic System Behavior against Requirements Method, Language, and Tool, Linköping University SE-581 83, Linköping, 257 p. [Sweden].
  17. Martynyuk A. N., Tamim Akhmesh, Martynyuk D. A. and Drozd A. V. (2018), “*Povedencheskiy rabochiy kontrol' setevykh komp'yuternykh sistem*” [“Behavioral worker control of network computersystems”], journal *Elektrotekhnicheskkiye i komp'yuternyye sistemy* [Electrical and computer systems], vol.28 (104), pp. 201 – 207 [Ukraine].
  18. Skobtsov Yu. A. and Skobtsov V. Yu. (2011), Evolutionary test generation methods for digital devices, Design of Digital Systems and Devices, Berlin, Springer Verlag, pp. 331–361, (Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 79) [Germany].
  19. Martynyuk O., Sugak A., Martynyuk D. and Drozd O. (2017), “Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems”, Proc. 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Bucharest, pp. 888–893. [Romania].
  20. Classen A., Cordy M. and Schobbens P.-Y. et al. (2013, Aug.), Featured Transition Systems: Foundations for Verifying Variability-Intensive Systems and Their Application to LTL Model Checking, TSE, 39(8):1069–1089.
  21. Sugak H., Martynyuk O. and Drozd A. (2015), “Models of the Mutation and Immunity in Test Behavioral Evolution”, Proc. 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Warsaw, pp. 790–795 [Poland].
  22. Martynyuk O., Drozd O., Tamim Ahmesh et al. (2019, September, 18–20), “Hierarchical Model of Behavior On-line Testing for Distributed Information Systems”, The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Metz, vol. 2, pp. 724–729 [France].

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-7>

УДК 004.315

**О. В. Дрозд**, доктор технічних наук,  
професор кафедри комп'ютерних  
інтелектуальних систем та мереж  
Одеського національного політехнічного  
університету

**П. В. Височина**, магістрант Одеського  
національного політехнічного університету

**В. Є. Домбровський**, магістрант  
Одеського національного політехнічного  
університету

**К. В. Сміщук**, магістрант Одеського  
національного політехнічного університету

**О. О. Шалак**, магістрант Одеського  
національного політехнічного університету

### **МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОМНОЖУВАЧА В КРИТИЧНИХ ЗАСТОСУВАННЯХ**

*Досліджено критичні застосування помножувача мантис, що виконує ключову операцію в обробці наближених даних. Розроблено програмні моделі та виконано моделювання помножувача мантис і його систем контролю у випадках кратних несправностей, які можуть виникати в аварійному режимі в умовах накопичення несправностей у нормальному режимі систем критичного застосування. Одержано результати моделювання для мажоритарної структури та її окремих каналів множення, а також матричного помножувача мантис із повним та скороченим виконанням операцій і системами контролю за модулем, нерівностями та власними забороненими значеннями добутку. Оцінено достовірність результатів мажоритарної системи й достовірність задіяних методів контролю.*

Ключові слова: система критичного застосування; мажоритарна система; матричний помножувач мантис; контроль за модулем; нерівності; заборонені значення добутку; достовірність.

*Исследовано критическое применение умножителя мантис, выполняющего ключевую операцию в обработке приближенных данных. Разработаны программные модели и выполнено моделирование умножителя мантис,*

© **О. В. Дрозд, П. В. Височина, В. Є. Домбровський, К. В. Сміщук, О. О. Шалак, 2019**

---

*а также его систем контроля при кратных неисправностях, которые могут возникать в аварийном режиме в условиях накопления неисправностей в нормальном режиме систем критического применения. Получены результаты моделирования для мажоритарной структуры и ее отдельных каналов умножения, а также матричного умножителя мантисс с полным и сокращенным выполнением операций и системами контроля по модулю, неравенствам и собственным запрещенным значениям произведения. Оценена достоверность результатов мажоритарной системы и достоверность задействованных методов контроля.*

*Ключевые слова: система критического применения; мажоритарная система; матричный умножитель мантисс; контроль по модулю; неравенства; запрещенные значение произведения; достоверность.*

*The paper is devoted to the study of the mantissas iterative array multiplier functioning as part of the safety-related system in case of multiple faults. Processing of mantissas is considered because safety-related systems typically receive initial data from sensors, i.e. measurement results. These data are represented and processed in floating-point formats that define multiplication like the key operation because they use it in the number record itself. Program models of majority multiplication system and iterative array multiplier have been developed with checking systems built using various methods of on-line testing: checking, checking by inequalities and forbidden values of the product, i.e. using natural information redundancy of the product code. This redundancy is inherited by all mantissa processing results due to the key nature of the multiplication operation. The majority system and iterative array multiplier with its checking systems in case of multiple faults were simulated. They can occur in the most responsible emergency mode of the safety-related system under conditions of fault accumulation during prolonged normal mode. Faults are accumulated due to the lack of input data showing them. These data are typical only for the emergency mode of operation of the safety-related systems. As a fault, a short circuit between two points of the operation element circuit in the multiplier array is considered. The simulation was conducted on a sequence of random input data with the injection of a fault between randomly selected points and the operational element. Results of simulation for majority system and its separate channels of multiplication, as well as iterative array multiplier of mantissas with complete and truncated execution of operation and residue checking system by modulo three, systems by inequality and own forbidden values of product are obtained. The trustworthiness of the results calculated by the majority system under the action of multiple faults and the trustworthiness of the on-line testing methods implemented in the considered checking systems were evaluated.*

*Key words: safety-related system; majority system; iterative array multiplier; mantissa; residue checking; inequality; forbidden product value; trustworthiness.*

---

**Постановка проблеми.** Системи критичного застосування спрямовані на забезпечення функціональної безпеки: власної та об'єктів підвищеного ризику, для запобігання аваріям та зменшення їхніх наслідків. До таких об'єктів належать енергоблоки електростанцій, енергомережі, швидкісний транспорт тощо [1; 2]. Цифрові компоненти систем будуються з використанням матричних вузлів. Вони одержують результати вимірювань від датчиків, тобто мають наближені дані, які обробляються у форматах з плаваючою точкою, де множення є ключовою операцією над мантисами, оскільки наявне в самому представленні чисел [3; 4].

Системи проєктуються для роботи у двох режимах: нормальному та аварійному. В нормальному режимі цифрові компоненти працюють на обмеженій множині вхідних даних, що сприяє накопиченню прихованих несправностей, які в аварійному режимі можуть виявитися одночасно, показуючи кратний характер [5; 6].

Існує багато систем проєктування, що моделюють роботу цифрових пристроїв, однак не за умов кратних несправностей. Тому в статті представлено результати програмного моделювання, в якому досліджено функціонування матричних помножувачів мантис та методів і засобів їх робочого діагностування у випадку кратних несправностей, що важливо для критичних застосувань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Функціональна безпека ґрунтується на використанні відмовостійких рішень, із яких найпоширеніші мажоритарні системи, що використовують декілька каналів для багаторазового розв'язку однієї і тієї ж задачі, а також мажоритарний орган, що обирає з одержаних результатів найбільш достовірний за більшістю збігів.

Економічне рішення містить три канали, що вже дає змогу виконувати функцію голосування. Технологічність у розробці мажоритарної системи полягає в можливості “штампувати” канали, що з боку ресурсного підходу зараховує таке рішення до найнижчого рівня у розвитку ресурсів – моделей, методів та засобів – до реплікації. Ресурсний підхід аналізує процес інтеграції комп'ютерного світу, що створюється людиною, до природного шляхом структурування під особливості цього природного світу, серед яких найбільшими виявилися мають дві: паралелізм та наближеність [7; 8].

Еволюція комп'ютерних систем та імplementованих у них інформаційних технологій – це історія підвищення рівня паралелізму й наближеності використовуваних рішень. Досить звернути увагу на розвиток персональних комп'ютерів, які спочатку мали апаратну підтримку наближених обчислень тільки в співпроцесорах, а далі вже одержали прискорену конвеєрну обробку в сімействі Pentium та довели кількість конвеєрів, що працюють одночасно, до тисяч у графічному процесорі [9; 10]. Тому розглядається обробка наближених даних у розпаралелених структурах.

---

У природному світі реплікація забезпечує інтеграцію живих істот під слоганом “більше народити, ніж помре”. Реплікація завжди обирається під час відкриття ресурсних ніш: екологічних, технологічних, ринкових тощо.

Під час критичних застосувань ресурсні ніші здебільшого закриваються. Клоні виживають, виявляючи особливості, тобто стаючи особинами, а наштамповані елементи – версіями. Слід зазначити, що в природному світі нічого не штампується однаково, і мажоритарна система є відмовостійкою лише завдяки версійній надлишковості наштампованих каналів [11; 12]. Для апаратних реалізацій каналів різними командами розробників цієї надлишковості досить для обчислення достовірних результатів у випадку відмови одного з каналів. Однак залишається питання щодо роботи мажоритарних систем у разі кратних несправностей.

За одну з версій каналу можна розглядати його систему контролю, яка може за методами робочого діагностування [13; 14] визначити достовірний результат із двох, що обчислюються двома каналами. Основний метод робочого діагностування арифметичних пристроїв – контроль за модулем [15]. Отже, доцільно дослідити роботу системи контролю за модулем у разі кратних несправностей. Серед альтернативних методів заслуговує на увагу контроль за нерівностями, який за операндами визначає верхню й нижню межі результату, в межах чого він приймається достовірним [16]. Достовірність методу робочого діагностування визначається за виявленням суттєвих помилок і пропуском несуттєвих [7]. Оскільки порівняння результату з його межами безпосередньо не пов’язано із суттєвістю помилок, то оцінка контролю за нерівностями потребує його моделювання.

Слід зазначити, що з ключового характеру операції множення впливає наслідування наблизеним результатам властивостей добутку, одна з яких полягає у наявності природної інформаційної надмірності у формі заборонених значень. Контроль добутку за власними забороненими значеннями дозволяє відмовитись від ресурсів для створення інформаційної надмірності, як це відбувається за традиційними методами робочого діагностування [17], та будувати найпростіші контрольні версії каналів.

Заборонені значення добутку можуть визначатися за допомогою простих чисел [18]. Одна із формул простого числа була запропонована видатним математиком П’єром Ферма (1601–1665) у такому вигляді:  $C = 2^n + 1$ , де  $n = 2^x$ ,  $x$  – натуральне число.

Формула Ферма підходить не для всіх значень  $x$ , однак вона підтверджується для  $\lambda = 3$  та  $\lambda = 4$ , тобто для  $n = 8$  та  $n = 16$ , що як розрядність операндів широке застосовуються для задач, які не потребують високої точності. Такі задачі поширені в механіці, гідравліці та інших сферах техніки. Заборонені значення добутку можуть утворюватись за простими числами,

---

виходячи з того, що просте число  $C$  має  $n + 1$  розряд і не може бути добутком двох  $n$ -розрядних двійкових співмножників. До заборонених значень добутку належать також числа, що є кратними  $C$ , тобто  $U = C \cdot K$ , де для мантис  $K = 2^{n-1}, \dots, 2^n - 1$  вони утворюють код із повторенням, що дозволяє їх ідентифікувати порівнянням старшої та молодшої частин добутку.

**Мета статті** – дослідження достовірності мажоритарної системи множення мантис за повною та скороченою операцією у разі кратних несправностей, що можуть виникати в критичних застосуваннях, а також достовірності методів контролю, за якими доцільно створювати контрольні версії каналів.

**Виклад основного матеріалу.** Для моделювання зазначеної мажоритарної системи множення з матричною реалізацією каналів і використанням методів контролю були прийняті такі положення та обмеження. Множення мантис розглядається у двох варіантах: з виконанням повної та скороченої операції. Виконання повної операції традиційно нав'язується бібліотеками готових рішень, наприклад такими, що сучасними САПР імплементуються в FPGA (Field Programmable Gate Array) та підтримуються їхніми бібліотеками [19; 20]. Скорочена операція є найбільш ефективною формою обробки мантис [21; 22].

Матричний помножувач будується за схемою Брауна, що являє собою регулярну матрицю операційних елементів [23]. Несправність, введена в матричний помножувач, відтворює замикання двох точок у межах одного операційного елемента, який є типовим для інтегральних схем [24].

Мажоритарна система складається з трьох каналів, якими є матричні помножувачі мантис. Обчислювані ними результати обираються голосуванням за кожним розрядом, який набуває значення за більшістю однакових значень.

Контроль за модулем 3 порівнює контрольні коди результату, одержані за самим результатом і за контрольними розрядами операндів. Для скороченої операції контрольний код зсиченого результату обчислюється за контрольними кодами фрагментів, на які розбивається обчислювана частина матриці кон'юнкцій добутку [25].

Контроль за нерівностями перевіряє добуток  $P = A \cdot B$ ,  $0,5 \leq A, B < 1$  за формулою  $P_L < P < P_H$ , де  $P_L = P^*$  при  $A, B \leq 3/4$  або  $A, B \geq 3/4$ ,  $P_H = P^*$  при  $A \leq 3/4$  і  $B \geq 3/4$  або  $A \geq 3/4$  і  $B \leq 3/4$ ,  $P^* = 3(A + B) / 4 - 9 / 16$ ,  $3/4$ .

Контроль за природною надмірністю результатів використовує заборонені значення коду добутку, що розглянуто для розрядності мантис 8 та 16.

Програмні моделі, розроблені на демоверсії Delphi 10 Seattle [26], відтворюють функціонування матричного помножувача з виконанням повної та скороченої операції на довільній вхідній послідовності даних під час введення несправностей замикання випадково обраних точок довільного опе-



---

раційного елемента. Крім того, задається розрядність помножувача в межах 8–15 та кількість правильних розрядів результату. В мажоритарній системі довільно розподіляється від однієї до шести несправностей.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Достовірність результатів на виходах каналів і всієї мажоритарної системи становить 90,2 % та 98,8 % і 81,5 % та 95,1 % за трьох і шести несправностей у випадку 8-розрядних помножувачів. Для розрядності 15 достовірність підвищилася відповідно до значень 90,3 % та 99,4 % і 81,7 % та 97,2 %. Скорочення операції множення не вплинуло на достовірність результатів.

Контроль за модулем 3 показав достовірність 53,8 % і 55,1 % для двох і трьох несправностей під час повної операції та 65,6 % і 64,7 % у разі скорочення обчислень у 8-розрядних помножувачах. Для розрядності 15 достовірність контролю результатів змінилася відповідно до значень 51,3 % і 52,2 % (зменшилася) та 69,3 % і 68,3 % (збільшилася).

Під час виконання повної і скороченої операції контроль за нерівностями показав достовірність 63,8 % і 57,3 % у 8-розрядних помножувачах та 52,9 % і 38,4 % для розрядності 15.

Контроль за природною надмірністю результатів розглядався у випадках однієї несправності й показав достовірність 52,7 % та 52,3 % для помножувачів із розрядністю 8 та 16 відповідно.

Проведене моделювання дозволило вперше оцінити достовірність результатів, обчислюваних у мажоритарній системі під дією кратних несправностей, та дослідити вплив кратних несправностей на достовірність контролю результатів обробки мантис за повною та скороченою операціями.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток методів контролю множення та вивчення їх достовірності й інших характеристик виконаних за ними контрольних версій каналів мажоритарної системи для обробки наближених даних за повними та скороченими обчисленнями з розглядом кратних несправностей і поширенням на інші арифметичні операції.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V., Phillips C.* Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions // Digital Technologies: Proceedings of the 9th International Conference, Zhilina, Slovak Republic, 2013. P. 191–197.

2. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety related systems. Part 1: General requirements. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010.

- 
3. ANSI/IEEE Std 754-1985. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic, 1985.
  4. IEEE Std 754™-2008 (Revision of IEEE Std 754-1985) IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016–5997, USA, 2008.
  5. *Kharchenko V. S., Sklyar V. V. (edits) et al.* FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment. Kharkiv. RPC Radiy, National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 2008. 188 p.
  6. *Drozdz M., Drozdz A.* Safety-Related Instrumentation and Control Systems and a Problem of the Hidden Faults // Digital Technologies : Proceedings of the 10th International Conference, Zhilina, Slovak Republic, 2014. P. 137–140.
  7. *Drozdz J., Drozdz A., Antoshchuk S.* Green IT engineering in the view of resource-based approach // In book: Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures, Studies in Systems, Decision and Control, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk, Eds., Vol. 74. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, 2017. P. 43–65. DOI: 10.1007/978-3-319-44162-7\_3.
  8. *Hiromoto R.* Parallelism and complexity of a small-world network model // International Journal of Computing. 2016. Vol. 15. Issue 2. P. 72–83.
  9. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture. Programming Guide / Version 1.0, NVIDIA Corporation, 2007.
  10. *Andrecut M.* Parallel GPU implementation of iterative PCA algorithms // Journal of Computational Biology. 2009. Vol. 16. No 11. P. 1593–1599. URL: <http://dx.doi.org/10.1089/cmb.2008.0221>
  11. *Kharchenko V. S., Siora A. A., Bakhmach E. S.* Diversity-Scalable Decisions for FPGA-based Safety-Critical I&Cs: from Theory to Implementation // Sixth ANS International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPI–HMIT 2009). Knoxville, Tennessee, USA, 2009. April 5–9.
  12. *Asad H., Gashi I.* Diversity in Open Source Intrusion Detection Systems // Computer Safety, Reliability, and Security: Lecture Notes in Computer Science, 8666, Springer, 2014. P. 267–281.
  13. *Nicolaidis M., Zorian Y.* On-Line Testing for VLSI / A Compendium of Approaches. Electronic Testing: Theory and Application. JETTA, 1998. Vol. 12. P. 7–20.
  14. *Metra C., Schiano L., Favalli M., Ricco B.* Self-checking scheme for the on-line testing of power supply noise // Design, Automation and Test in Europe Conference. Paris, France, 2002. P. 832–836.
  15. *Omondi A., Premkumar B.* Residue Number Systems: Theory and Implementation. Imperial College Press, London, UK, 2007. 296 p.

- 
16. Models and Methods Checking Mantissas by Inequalities for On-Line Testing of Digital Circuits in Critical Applications / O. Drozd, M. Al-dhabi, S. Antoshchuk and oth. // IEEE East-West Design & Test Symposium, Novi Sad, Serbia, 2017. P. 440–444, DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110068.
  17. Saposhnikov V., Dmitriev M., Goessel M. Self-dual parity checking – a new method for on-line testing // Proc. IEEE VLSI Test Symposium, 1996. P. 162–168.
  18. Drozd A. V. Efficient Method of Failure Detection in Iterative Array Multiplier // Design, Automation and Test in Europe. Conference and Exhibition 2000 (DATE 2000). Paris, France, 2000. 764 p.
  19. Intel Quartus Prime Standard Edition User Guide: Getting Started. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/yoq1529444104707.html>
  20. MAX 10 FPGA Device Architecture. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/sss1397439908414.html>
  21. Park H. Truncated Multiplications and Divisions for the Negative Two's Complement Number System. Ph.D. Dissertation. The University of Texas at Austin, Austin, USA, 2007.
  22. Garofalo V. Truncated Binary Multipliers with Minimum Mean Square Error: Analytical Characterization, Circuit Implementation and Applications. Ph.D. Dissertation. University of Studies of Naples "Federico II", Naples, Italy, 2008.
  23. Nicolaidis M., Manich S., Figueras, J. Achieving Fault Secureness in Parity Prediction Arithmetic Operators: General Conditions and Implementations // European Design and Test Conference, Paris, France, 1996. P. 186–193.
  24. Hierarchical Analysis of Short Defects between Metal Lines in CMOS IC / W. Pleskacz, M. Jenihhin, J. Raik and oth. // 11th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools, Parma, Italy, 2008. P. 729–734.
  25. Drozd A., Lobachev M., Hassonah W. Hardware Check of Arithmetic Devices with Abridged Execution of Operations // European Design and Test Conference, Paris, France, 1996. 611 p. DOI: 10.1109/EDTC.1996.494375.
  26. Delphi 10 Seattle: Embarcadero, 2015/ URL: <https://www.embarcadero.com/ru/products/delphi>

#### References:

1. Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V. and Phillips C. (2013), "Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions", 9<sup>th</sup> International Conference on Digital Technologies (DT'2013), Zhilina, p. 191–197 [Slovakia].

- 
2. IEC 61508-1:2010 (2010), Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety related systems. Part 1: General requirements. International Electrotechnical Commission, Geneva [Switzerland].
  3. ANSI/IEEE Std 754-1985 (1985), IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic.
  4. IEEE Std 754™-2008 (2008), (Revision of IEEE Std 754-1985) IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 [USA].
  5. Kharchenko V. S. and other, Sklyar V. V. (edits) (2008), FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment, RPC Radiy, Press National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 188 p. [Ukraine].
  6. Drozd M. and Drozd A. (2014), “Safety-Related Instrumentation and Control Systems and a Problem of the Hidden Faults”, The 10th International Conference on Digital Technologies, Zhilina, p. 137–140 [Slovak Republic].
  7. Drozd J., Drozd A. and Antoshchuk S. (2017), “Green IT engineering in the view of resource-based approach”, In: Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (eds.) Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures, Studies in Systems, Decision and Control, vol. 74, p. 43–65. Springer International Publishing, Heidelberg [Germany].
  8. Hiromoto R. (2016), “Parallelism and complexity of a small-world network model”, International Journal of Computing, vol. 15, issue 2, p. 72–83.
  9. NVIDIA Corporation (2007), NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture, Programming Guide, Version 1.0.
  10. Andrecut M. (2009), “Parallel GPU implementation of iterative PCA algorithms”, Journal of Computational Biology, vol. 16, no. 11, p. 1593–1599, available at: <http://dx.doi.org/10.1089/cmb.2008.0221>
  11. Kharchenko V. S., Siora A. A. and Bakhmach E. S. (2009), “Diversity-Scalable Decisions for FPGA-based Safety-Critical I&Cs: from Theory to Implementation”, Sixth ANS International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPI-HMIT 2009) April 5–9, Knoxville, Tennessee [USA].
  12. Asad H. and Gashi I. (2014), Diversity in Open Source Intrusion Detection Systems. Computer Safety, Reliability, and Security, Lecture Notes in Computer Science, 8666, Springer, p. 267–281.
  13. Nicolaidis M. and Zorian Y. (1998), “On-Line Testing for VLSI”, a Compendium of Approaches. Electronic Testing: Theory and Application. JETTA, vol. 12, p. 7–20.

- 
14. Metra C., Schiano L., Favalli M. and Ricco B. (2002), “SelfChecking scheme for the on-line testing of power supply noise”, Proc. of Design, Automation and Test in Europe Conference, p. 832–836, Paris [France].
  15. Omondi A. and Premkumar B. (2007), Residue Number Systems: Theory and Implementation. Imperial College Press, London, 296 p. [UK].
  16. Drozd O., Al-dhabi M., Antoshchuk S., Martinyuk O. and Drozd M. (2017), “Models and Methods Checking Mantissas by Inequalities for On-Line Testing of Digital Circuits in Critical Applications”, Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Novi Sad, p. 440–444 [Serbia].
  17. Saposhnikov V., Dmitriev M. and Goessel M. (1996), “Self-dual parity checking – a new method for on-line testing”, Proc. IEEE VLSI Test Symposium, p. 162–168.
  18. Drozd A. V. (2000), “Efficient Method of Failure Detection in Iterative Array Multiplier”, Design, Automation and Test in Europe. Conference and Exhibition 2000, Paris, p. 764 [France].
  19. Intel Quartus Prime Standard Edition User Guide: Getting Started, available at: <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/yoq1529444104707.html>
  20. MAX 10 FPGA Device Architecture, available at: <https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/documentation/sss1397439908414.html>
  21. Park H. (2007), Truncated Multiplications and Divisions for the Negative Two’s Complement Number System, Ph.D. Dissertation. The University of Texas at Austin, Austin [USA].
  22. Garofalo V. (2008), Truncated Binary Multipliers with Minimum Mean Square Error: Analytical Characterization, Circuit Implementation and Applications, Ph.D. Dissertation, University of Studies of Naples “Federico II”, Naples [Italy].
  23. Nicolaidis M., Manich S. and Figueras J. (1996), “Achieving Fault Secureness in Parity Prediction Arithmetic Operators: General Conditions and Implementations”, Proc. European Design and Test Conference, p. 186–193, Paris [France].
  24. Pleskacz W., Jenihhin M., Raik J., Rakowski M., Ubar R. and Kuzmicz W. (2008), “Hierarchical Analysis of Short Defects between Metal Lines in CMOS IC”, 11th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools, p. 729–734, Parma [Italy].
  25. Drozd A. V., Lobachev M. V. and Hassonah W. (1996), “Hardware check of Arithmetic Devices with Abridged Execution of Operations”, the European Design & Test Conference (ED & TC 96), p. 611, Paris [France].
  26. Delphi 10 Seattle: Embarcadero (2015), available at: <https://www.embarcadero.com/ru/products/delphi>

**І. Ю. Леснікова**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспортних систем  
та технологій Університету митної справи  
та фінансів

**Є. П. Медведєв**, старший викладач  
кафедри логістичного управління  
та безпеки руху на транспорті  
Східноукраїнського національного  
університету імені Володимира Даля

**Н. В. Халіпова**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспортних систем  
та технологій Університету митної справи  
та фінансів

**А. І. Кузьменко**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспортних систем  
та технологій Університету митної справи  
та фінансів

**С. А. Разгонов**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспортних систем  
та технологій Університету митної справи  
та фінансів

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО СПРЯМУВАННЯ В ОПТИМІЗАЦІЇ СХЕМ ВИРОБНИЦТВА ТА ПОСТАЧАННЯ СИРОВИНИ**

*Розглянуто питання оптимізації виробничих процесів шляхом застосування задач транспортного спрямування (транспортної задачі, задачі про кільцевий маршрут та задачі про максимальний потік). Розроблено адаптовану під сучасні виробничі умови модель, яка включає вирішення питань, пов'язаних із вибором оптимального маршруту, побудовою економічно ефективних режимів постачання, розрахунком мінімальних простойв обладнання, попередньою оптимізацією наявної транспортної мережі, виробництвом необхідної кількості продукції з мінімальними затратами.*

*Ключові слова: виробничі ситуації; моделювання транспортних потоків; оптимізаційна модель.*

© **І. Ю. Леснікова, Є. П. Медведєв, Н. В. Халіпова, А. І. Кузьменко, С. А. Разгонов, 2019**

---

*Рассмотрены вопросы оптимизации производственных процессов за счет применения задач транспортного направления (транспортной задачи, задачи о кольцевом маршруте и задачи о максимальном потоке). Разработана модель, адаптированная под современные производственные условия, которая включает решение вопросов, связанных с выбором оптимального маршрута, построением экономически эффективных режимов поставки, нахождением минимальных простоев оборудования, предварительной оптимизацией существующей транспортной сети, производством необходимого количества продукции с минимальными затратами.*

*Ключевые слова: производственные ситуации; моделирование транспортных потоков; оптимизационная модель.*

*Considered the problem of production processes optimization by application of transport direction tasks. The development of approaches to improve the existing production process based on the calculation of rolling mill capacity to ensure the production of the required number of kits during the month is analyzed. An optimization problem is investigated in order to minimize the total time for preparatory operations for assembly of metal structures, taking into account the location of the existing transport network of the region.*

*With the help of the maximum flow task determined the possibility of the required production volume delivery from a certain point of manufacture to a specific warehouse in accordance with the existing production schemes of the enterprise. In the mathematical model to solve this problem, a linear programming problem proposed to find the volume of production when using certain equipment; the restriction specifies the possibility of supplying the workpiece of certain products.*

*Using the circular route problem, established a sequence of operations with minimization of the costs for equipment reconfiguration in the process of the enterprise's planned task execution.*

*The developed methodology provides formation and systematic analysis of basic factors, such as the production of the required quantity of certain products.*

*Developed the model adapted to modern production conditions, which includes solving issues related to the optimal route choice, creation of cost-effective supply modes, finding minimal equipment downtime, pre-optimization of the existing transport network, production of the required quantity of products with minimal costs.*

*By analyzing the results obtained at each step of the specified problem solving for the purpose of further optimization, the proposed mathematical model can be implemented in the manufacturing process of any enterprise. Such model*

---

*allows complex optimization of the enterprise processes as well as to achieve the set goals by adjusting the existing transport network.*

*Key words: production situation; modeling of traffic flows; optimization model.*

**Постановка проблеми.** Сучасний стан економічних відносин не просто ставить перед галуззю транспорту завдання з виконання переміщення вантажів, але й потребує глибокої інтеграції у виробничі, постачальницькі та збутові процеси. Подібне розширення ролі зазначеної сфери приводить до впровадження задач транспортного спрямування для подальшої оптимізації виробничо-перевізного процесу і потребує застосування інноваційних інформаційних технологій.

На стадії проектування необхідно виконати розрахунки і знайти оптимальний варіант будівництва промислового комплексу для виробництва металоконструкцій та складання їх у комплект для опор мереж електропередач. При цьому необхідно враховувати діючу транспортну мережу регіону та розміщення підприємств, що постачатимуть вихідну заготовку для проєктувального промислового комплексу.

Питання моделювання такого виробничого процесу, який включає в себе процеси перевезення, важливе та перспективне у розв'язанні поточних виробничих проблем для подальшого вдосконалення процесу виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні проблеми оптимізації виробничої програми підприємства в різний час досліджували такі відомі зарубіжні й вітчизняні вчені, як А. Гранберг, Дж. Данциг, Л. Канторович, В. Новожилов, О. Орлов, В. Царьов та ін. [1–7]. Проте, незважаючи на велику кількість фундаментальних праць і прикладних робіт з оптимального планування, цей математичний апарат дотепер не застосовується в практиці планової роботи на підприємствах. Як показали проведені дослідження, широкому використанню оптимізаційних розрахунків у процесі формування виробничої програми нині перешкоджає наявність цілого ряду методологічних і методичних проблем, а також недостатнє опрацювання прикладних аспектів застосування методів оптимального планування на промислових підприємствах. Так, нині немає чіткості у визначенні місця оптимізаційних розрахунків у процесі формування поточних і перспективних виробничих планів. Не визначена сфера застосування методів одноцільової та багатоцільової оптимізації виробничої програми. Не існує теоретично обґрунтованих рекомендацій щодо практичного використання багатоцільового підходу до оптимізації виробничої програми промислового підприємства.

**Мета статті** – розвиток підходів для вдосконалення наявного виробничого процесу завдяки розрахунку потужностей прокатних станів з метою



забезпечення виробництва необхідної кількості комплектів протягом місяця з мінімізацією загального часу на підготовчі операції для складання комплектів металокопункцій з урахуванням розміщення діючої транспортної мережі регіону.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язання поставлених задач були використані математичні методи, що дозволяють оптимізувати виробничий процес та отримати позитивні економічні результати роботи підприємства.

Змістова постановка ситуації така. З вихідної заготовки необхідно виробити 4 види кутка заданої мірної довжини. Види кутка виробляються прокатним станом, для кожного з яких відомі коефіцієнти витрат металу для виробництва кінцевої продукції.

Загальна схема розподілу вихідної заготовки між прокатними станами зображена на рис. 1. Постачання заготовок виконується від сталеливарного заводу через проміжні склади, використовуючи наявну мережу залізниці із заданими пропускними можливостями  $S_{ij}$ .

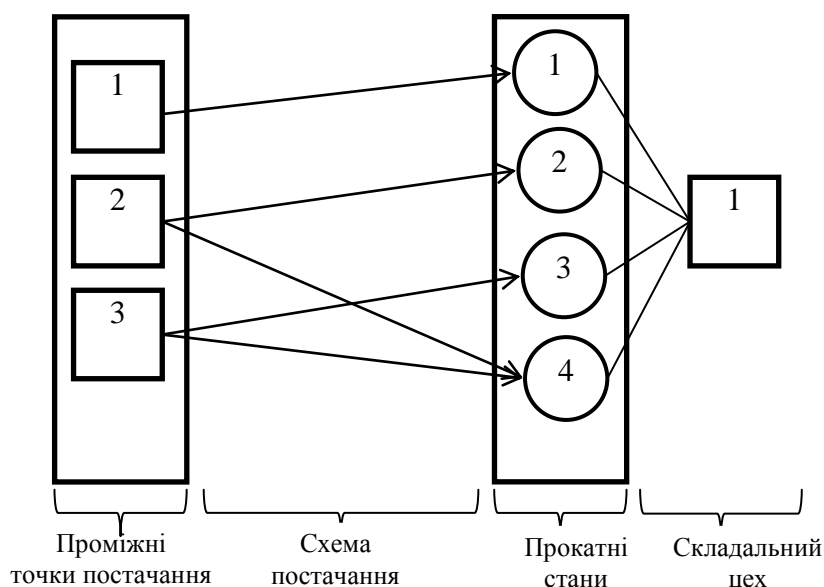


Рис. 1. Схема розподілу вихідної заготовки між прокатними станами

Після обробки заготовок прокатними станами кутки мірної довжини направляються до складального цеху промислового комплексу для складання комплектів металокопункцій опор мереж електропередач. Для складання комплектів взаємозв'язаних металокопункцій необхідно, щоб виробництво кутків було лише у заданих співвідношеннях:  $\gamma_1 : \gamma_2 : \gamma_3 : \gamma_4 = 1 : 4 : 3 : 2$  (шт.).

Місячний план кількості готових комплектів проектувального промислового комплексу становить  $N = 82$  одиниці.

Таблиця 1

	1	2	3	4	5	6
1	$\infty$	20	26	22	40	32
2	38	$\infty$	25	32	34	40
3	28	16	$\infty$	26	38	26
4	22	32	30	$\infty$	30	31
5	42	34	30	26	$\infty$	37
6	34	45	28	30	32	$\infty$

Протягом складання опор усі кутки повинні пройти підготовчі операції (свердління дірок, обрізка металу за конфігураціями, зварювання тощо) – усього 6 операцій. Витрати часу на переналагодження з однієї операції на іншу відомі й задані в табл. 1 (у хвиликах).

Взаємозв'язок задач для вирішення даної виробничої ситуації зображено на рис. 2.

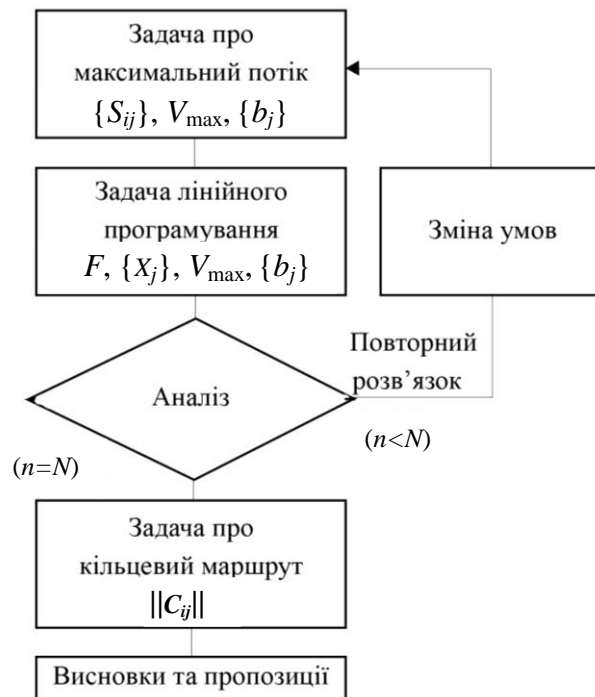


Рис. 2. Схема взаємозв'язку задач



---

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \text{ тобто } \gamma_2 y_1 - \gamma_1 y_2 = 0,$$

$$\frac{y_2}{y_3} = \frac{\gamma_2}{\gamma_3}, \text{ тобто } \gamma_3 y_2 - \gamma_2 y_3 = 0,$$

де  $\gamma_j$  – коефіцієнт співвідношення.

Максимізацію кількості комплектів металоконструкцій запишемо у такий вираз:

$$F = y_1 + y_2 + y_3 + y_2' + y_3' \rightarrow \max. \quad (3)$$

Виконаємо переіндексацію змінних:

$$y_1 = x_1, y_2 = x_2, y_3 = x_3, \\ y_2' = x_4, y_3' = x_5.$$

Тоді отримуємо таку математичну модель лінійного програмування:

$$F = \sum_{i=1}^5 x_i \rightarrow \max, \\ \gamma_4 x_3 - \gamma_3 x_4 - \gamma_3 x_5 = 0, \\ \gamma_2 x_1 - \gamma_1 x_2 = 0, \\ \gamma_3 x_2 - \gamma_2 x_3 = 0, \\ k_1 x_1 \leq b_1, \\ k_2 x_2 + k_2' x_4 \leq b_2, \\ k_3 x_3 + k_3' x_5 \leq b_3. \quad (4)$$

Така математична модель розв'язується симплексним методом, для якої треба знайти величини  $b_1$ ,  $b_2$  та  $b_3$ .

Для віднаходження величин  $b_1$ ,  $b_2$  та  $b_3$  розв'язується задача про максимальний потік згідно із заданою транспортною мережею.

Для цієї мережі є один вхід – сталеливарний завод, а кінцевих пунктів – три (рис. 4).

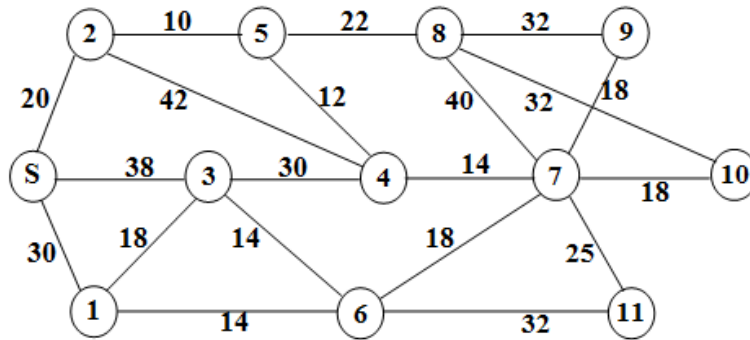


Рис. 4. Діюча транспортна мережа

Для розв'язування задачі про максимальний потік вводиться один фіктивний кінцевий пункт  $t$  з умовними зв'язками (рис. 5).

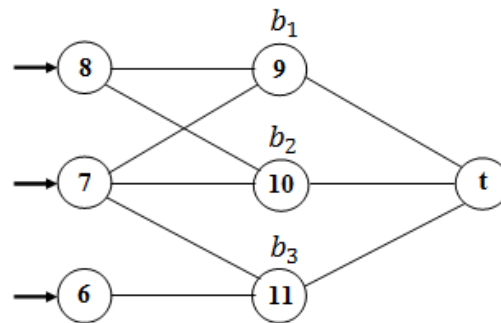


Рис. 5. Переналадження транспортної мережі

Пропускную можливість пункту  $t$  взяти за суму вхідних можливостей  $S_{i,j}$  від кінцевих складів:

$$S_{9,t} = S_{8,9} + S_{7,9} = 32 + 18 = 50,$$

$$S_{10,t} = S_{7,10} + S_{8,10} = 18 + 32 = 50,$$

$$S_{11,t} = S_{6,11} + S_{7,11} = 32 + 25 = 57.$$

Кінцева матриця потоків така:

---

s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	t	
s	X	26	10	14									
1		X		12		14							
2			X		10								
3				X	26								
4					X	12	14						
5						X		22					
6							X				14		
7								X		14			
8									X	22			
9										X		22	
10											X	14	
11												X	14
T													X

Рис. 6

$$V_{max} = 26 + 10 + 14 = 50,$$

$$b_1 = x_{8,9} + x_{7,9} = 22 + 0 = 22,$$

$$b_2 = x_{7,10} + x_{8,10} = 14 + 0 = 14,$$

$$b_3 = x_{6,11} + x_{7,11} = 14 + 0 = 14.$$

Одержані таким чином пропускі можливості  $x_{jt}$  до фіктивного кінцевого пункту  $t$  дорівнюють значенням  $b_{3j}$ :

$$x_{1,t} = b_1, x_{2,t} = b_2, x_{3,t} = b_3.$$

Після цього розв'язується задача лінійного програмування.

$$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \rightarrow \max,$$

$$1,1x_1 \leq 22,$$

$$1,08x_2 + 1,12x_4 \leq 14,$$

$$1,12x_3 + 1,12x_5 \leq 14.$$

---

Результати розв'язування:  $x_1 = 2,82$ ;  $x_2 = 11,29$ ;  $x_3 = 8,46$ ;  $x_4 = 4,032$ ;  $x_5 = 28,23$ .

Виробництво кількості кутків (шт.):

$$\begin{aligned}y_1 &= x_1 = 2,82, \\y_2 &= x_2 = 11,29, \\y_3 &= x_3 = 8,46, \\y_4 &= x_4 + x_5 = 1,61 + 4,032 = 5,632.\end{aligned}$$

За знайденими величинами  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  та  $y_4$  і заданим співвідношенням комплектації обчислюється кількість комплектів  $n$ , котрі можна одержати за проведеними розрахунками ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ,  $Y_4$ ). Тоді перший куток має коефіцієнт  $y_1 = 1$ , тому кількість комплектів за добу – 2,82 шт.

Виробництво кутків за місяць дорівнює (у цілочислових значеннях):

$$\begin{aligned}y_1 &= 24 \cdot y_1 = 24 \cdot 2,82 = 67,68 \equiv 67 \text{ шт.} \\y_2 &= 24 \cdot y_2 = 24 \cdot 11,29 = 270,96 \equiv 270 \text{ шт.} \\y_3 &= 24 \cdot y_3 = 24 \cdot 8,46 = 203,04 \equiv 203 \text{ шт.} \\y_4 &= 24 \cdot y_4 = 24 \cdot 5,632 = 135,168 \equiv 135 \text{ шт.}\end{aligned}$$

Оскільки за планом потрібно  $N = 82$  шт., а одержано тільки 67 шт. ( $n = y_1 < N$ ), то в цьому випадку потрібно провести аналіз завантаження транспортної мережі, запропонувати зміни значення  $S_{i,j}$  для деяких зв'язків мережі (або змінити структуру цієї мережі), тобто запропонувати шлях збільшення максимального потоку постачання заготовок від сталеливарного заводу.

Перевіряється поведінка обмежень математичної моделі лінійного програмування шляхом підстановки результатів розв'язку:

$$1.1 \quad x_1 = 1,1 \cdot 2,82 = 3,102 < 22,$$

$$1,08 x_2 + 1,12 x_4 = 1,08 \cdot 11,29 + 1,12 \cdot 1,61 = 13,99 \approx 14,0,$$

$$1,12 x_3 + 1,12 x_5 = 1,12 \cdot 8,46 + 1,12 \cdot 4,032 = 13,99 \approx 14,0.$$

Таким чином, вживаються заходи, для збільшення значень  $b_2$  та  $b_3$ , тому що вони є вузьким місцем у виробничій ситуації, а величина  $b_1 = 22$  є в достатній кількості.

В результаті аналізу фактичного завантаження транспортної мережі визначається, що збільшення значень  $b_2$  та  $b_3$  можливе за рахунок зростання пропускних можливостей зв'язків (47) та (16) згідно із транспортною мережею. Таким чином, для виконання планових завдань ( $N = 82$ ) вживаються заходи для збільшення величин  $b_2$  та  $b_3$  за рахунок  $S_{4,7}$  та  $S_{1,6}$ .

Виконуються заміни  $S_{4,7} = 14$  на  $S_{4,7} = 18$ , а  $S_{1,6} = 14$  на  $S_{1,6} = 18$ .





Розв'язок задачі лінійного програмування із цими даними такий:  
 $x_1 = 3,55, x_2 = 14,55, x_3 = 10,67, x_4 = 2,158, x_5 = 4,95, F = 35,57$ .  
 Виробництво кількості кутків у нових умовах (за добу):

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 = 3,55, \\ y_2 &= x_2 = 14,55, \\ y_3 &= x_3 = 10,67, \\ y_4 &= x_4 + x_5 = 2,158 + 4,95 = 7,108 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Виробництво кутків за місяць (цілочислове):

$$\begin{aligned} y_1 &= 24 \cdot 3,55 = 85,2 \equiv 85 \text{ шт.} \\ y_2 &= 24 \cdot 14,55 = 349,2 \equiv 349 \text{ шт.} \\ y_3 &= 24 \cdot 10,67 = 256,08 \equiv 256 \text{ шт.} \\ y_4 &= 24 \cdot 7,108 = 170,592 \equiv 170 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Таким чином, виробничий комплекс протягом місяця має можливість випускати 85 комплектів металоконструкцій для опор мереж електропередач. Мети досягнуто, тобто виконується співвідношення  $n \geq N$ .

Для розрахунку мінімальних простоїв обладнання використовується математична модель задачі про кільцевий маршрут:

$$F = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1; \sum_j x_{ij} = 1,$$

$$x_{ij}(1 - x_{ij}) = 0; c_{ij} = \infty (i = j); c_{kl} = \infty.$$

де  $x_{ij} = \begin{cases} 0, \\ 1, \end{cases}$

$c_{ij}$  – витрати часу на переналагодження обладнання у разі переходу з  $i$ -ої на  $j$ -ту операцію;

$c_{kl}$  – зв'язок, який дає неповний кільцевий маршрут.

Схема розв'язування така (рис. 9).

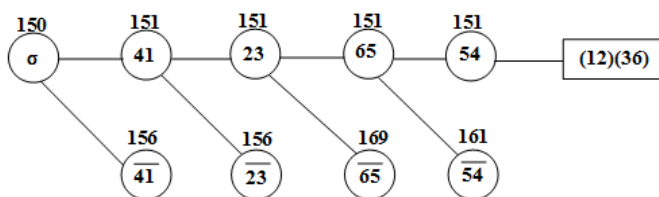


Рис. 9. Схема задачі про кільцевий маршрут

---

Розв'язок:  $F = 151$  (хвилин),  $\sigma = (1236541)$ .

Загальні витрати часу за місяць на переналагодження становлять:

$$t_n = 151 \cdot 3,55 \cdot 24 = 12\,865,2 \text{ хв} = 214,42 \text{ год} = 8,9 \text{ діб.}$$

Таким чином, кількість годин на виробництво підготовчої операції та складання опор за місяць дорівнює: 567,1 год, або 98,4 % від загальних ресурсів часу.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Розглянуто актуальне питання оптимізації виробничого процесу з використанням задач транспортного спрямування. У розробленій методиці передбачено формування та системний аналіз базових факторів, таких як виробництво необхідної кількості певної продукції.

За допомогою задачі про максимальний потік визначено можливість поставки необхідного обсягу продукції від певної точки виробництва до конкретного складу відповідно до наявних виробничих схем підприємства.

У запропонованій математичній моделі для розв'язання поставленої проблеми запропоновано задачу лінійного програмування для розрахунку обсягу виробництва з використанням певного обладнання; як обмеження вказано можливість постачання заготовки певної продукції.

Проаналізовано результати, отримані після формулювання задачі лінійного програмування. Згідно із цим виконано переоцінку завантаження транспортної мережі та її подальшого переналагодження з метою досягнення цілей виробництва (виробничого плану).

За допомогою використання задачі про кільцевий маршрут знайдено послідовність проведення операцій з мінімізацією витрат на переналагодження обладнання у процесі виконання планового завдання підприємства.

Виконуючи аналіз отриманих результатів на кожному етапі розв'язання зазначеної проблеми з метою подальшої оптимізації, запропоновану математичну модель можна впроваджувати у виробничий процес будь-якого підприємства. Така модель дає змогу комплексно оптимізувати процеси підприємства і досягти поставлених цілей шляхом коригування наявної транспортної мережі.

#### **Список використаних джерел:**

1. Бідняк М. Н., Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: теорія і практика: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 176 с.
2. Наконечний С. І., Савіна С. С. Математичне програмування: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2003. 452 с.

- 
3. Орлов О. О. Планування діяльності промислового підприємства: підручник. Київ: Скарби, 2002. 336 с.
  4. Царев В. В. Внутрифирменное планирование. Санкт-Петербург: Питер, 2002. 496 с.
  5. Таха Хэмди А. Введение в исследование операций. 6-е издание: пер. с англ. Москва: Вильямс, 2001. 912 с.
  6. Дорохов О. В. Розробка моделей для удосконалення взаємодії споживачів і виробників послуг на транспортних ринках вантажних перевезень: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: Харків, 2005.
  7. Лашкевич А. А. Моделі управління ланцюгами поставок експрес-вантажів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. економ. наук. Санкт-Петербург, 2012.

#### References:

1. Bidniak M. N. and Bilichenko V. V. (2006), *Vyrobnychi systemy na transporti: teoriia i praktyka* [Production systems in transport: theory and practice], Press UNIVERSUM-Vinnytsia, 176 p. [Ukraine].
2. Nakonechnyi S. I. and Savina S. S. (2003), *Matematychnе prohramuvannia* [Mathematical programming], Press KNEU, Kiev, 452 p. [Ukraine]
3. Orlov O. O. (2002), *Planuvannia diialnosti promyslovoho pidpriemstva*. [Planning of activity of industrial enterprise], Press Skarby, Kiev, 336 p. [Ukraine]
4. Tsarev V. V. (2002), *Vnutryfirmennoe planirovaniye* [Inter-company planning], Press Pyter, Sankt-Peterburh, pp. 496–518, [Russia]
5. Taha Hemdi A. (2001), *Vvedenie v issledovanie operacij*, 6-e izdanie [Introduction to Operations Research, 6th Edition ], Press Izdatelskij dom “Vilyams”, Moscow, 912 p. [Russia]
6. Dorokhov O. V. (2005), *Rozrobka modelei dlia udoskonalennia vzaiemodii spozhyvachiv i vyrobnykiv posluh na transportnykh rynkakh vantazhnykh perevezen* [Development of models for improving the interaction between consumers and service providers in the freight transport markets ], Kharkiv, 24 p. [Ukraine]
7. Lashkevych A. A. (2012), *Modeli upravlinnia lantsiuhamy postavok ekspres-vantazhiv* [Models of management of a chain of express cargo deliveries], Sankt-Peterburh, 22 p. [Russia]

**О. Д. Фірсов**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри транспортних систем та технологій Університету митної справи та фінансів  
**В. П. Зверєв**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, помічник Голови Національної поліції України  
**О. В. Шаповалов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем та технологій Університету митної справи та фінансів  
**М. В. Михайлов**, магістрант Університету митної справи та фінансів

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МАРШРУТНОГО РУХУ

*Проаналізовано принципи та стан маршрутної транспортної системи міста Дніпро, параметри функціонування обраного маршруту. На основі проведеного аналізу та розрахунків для обраного маршруту, з урахуванням режимів підйому та спуску, розгону й гальмування, було обрано найефективніші режими руху транспортного засобу, що задовольнятимуть вимогу найменшого використання паливних і потужнісних ресурсів.*

Ключові слова: *маршрутний рух; оптимізація; вдосконалення; рельєф; потужність двигуна.*

*Проанализированы принципы и состояние маршрутной транспортной системы города Днепр, параметры функционирования выбранного маршрута. На основе проведенного анализа и расчетов для выбранного маршрута, с учетом режимов подъема и спуска, разгона и торможения, были избраны эффективные режимы движения транспортного средства, которые удовлетворяют требованию наименьшего использования топливных и мощностных ресурсов.*

Ключевые слова: *маршрутное движение; оптимизация; совершенствование; рельеф; мощность двигателя.*

© О. Д. Фірсов, В. П. Зверєв, О. В. Шаповалов, М. В. Михайлов, 2019

---

*The problem of reducing fuel consumption by buses, taxis and trucks is urgent. Fuel economy and efficient use of the power resources of the motor vehicle can significantly reduce fuel costs and maintenance. In today's passenger transportation, fuel and lubricant costs, the savings on these consumables make it possible to significantly reduce transportation costs for transport companies and trucking companies.*

*The purpose of the study is to analyze the situation on the road, helping drivers to slow down and accelerate with calculated efficiency. For the stationary route, you can use a terrain map and relief, allowing the driver to release gas in advance when approaching the turns, forks and stops where you have to brake. Analyzing the route parameters and engine modes allows you to provide guidance on the choice of speed mode and transmission. As a result, there is no need for frequent accelerations and brakes, which has a positive effect on fuel consumption.*

*The route under consideration identifies the relief features of the route, which, above all, enables the development of a more efficient driving schedule of the vehicle, which in turn will allow the driver to use the engine power with maximum benefit based on these data. External velocity characteristics, traction-velocity balance and fuel and economic characteristics of the engine of the vehicle under consideration are calculated. Based on this data, the driving mode for each section of the route is selected to match the lowest fuel consumption and engine power. The problem with the implementation of this plan is to communicate to the driver information on the optimal use of engine power, depending on road conditions. On the one hand, an application can be developed for the driver that will offer driving modes, but control of the parameters and the reaction of the driver in real operating conditions may not be effective. Therefore, the approach implemented in the work is rather a tool for automating the movement process. Obviously, after the full automatic movement of the vehicle is realized, the next steps will be the optimization of transportation costs.*

*Key words: engine power; route parameters; terrain map; fuel consumption; relief features.*

**Постановка проблеми.** Ефективне функціонування міського пасажирського транспорту є одним із ключових напрямів розвитку соціальної та виробничо-економічної сфери будь-якого міста. Через зростання населення й розвиток міста збільшується навантаження на громадський транспорт, неминуче виникають проблеми, пов'язані з наданням транспортних послуг населенню; підвищується дорожньо-транспортна аварійність; зростає негативний вплив транспорту на стан навколишнього середовища і здоров'я населення; збільшуються втрати, пов'язані з транспортними заторами, а також викиди парникових газів і витрати палива.

---

Існує потреба у системному підході до організації пасажиропотоків у місті з урахуванням конфліктних інтересів безпосередніх учасників перевезень, третіх сторін із застосуванням сучасних можливостей техніки й обчислювальних приладів. Але побудова системи перевезень у місті, яка відповідала б усім необхідним вимогам, практично неможлива, хоча б через те, що самі вимоги у сучасному місті динамічно змінюються. Отже, йдеться про вдосконалення елементів системи перевезень, насамперед про пошук проблемних місць і способів їх модернізації.

Також важливим є пошук недоліків актуального маршрутного транспорту, що виконує перевезення на міських маршрутах Дніпра для того, щоб знайти варіанти усунення цих недоліків і способи раціоналізації руху маршрутних таксі.

Проблема зменшення витрат палива автобусами, маршрутними таксі та вантажними автомобілями досить актуальна. Так, наприклад, компанія Ford планує розв'язати цю проблему за допомогою своєї нової системи Eco Guide. Головне завдання Eco Guide у тому, щоб прогнозувати ситуацію на дорозі, допомагаючи автомобілістам здійснювати уповільнення й розгін з максимальною ефективністю. Комплекс використовує дані від системи супутникової навігації, дозволяючи водієві завчасно скидати газ під час наближення до поворотів, розвилок та інших дорожніх ділянок, де доведеться гальмувати. Eco Guide аналізує поведінку водія і дає рекомендації щодо вибору швидкісного режиму й передачі. В результаті відпадає необхідність у частих прискореннях і гальмуваннях, що позитивно позначається на витраті палива.

Компанія Volvo пропонує користувачам систему I-Save на технічному рівні та систему I-See на інтелектуальному, яка спирається на мапи місцевості, аналізує рельєф дороги та адаптує рух автомобіля відповідно.

Завдання цієї статті – визначити особливості заданого маршруту пасажирських перевезень та розрахувати оптимальний режим руху маршрутного транспорту.

**Мета статті** – розробка теоретичних положень і практичних рекомендацій з удосконалення технологічного процесу руху маршрутного пасажирського автотранспорту у межах міста.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі *завдання*:

- визначити характер та особливості розглянутого маршруту;
- описати технічні та експлуатаційні характеристики транспортного засобу, що виконує перевезення на розглянутому маршруті;
- розрахувати основні технічні та економічні показники роботи маршрутного таксі;
- визначити режим руху автобуса, який відповідатиме найменшим потужнісним і паливним витратам

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інфраструктура сучасних міст одночасно ускладнюється й породжує проблеми своєю складністю й

---

розмірами. Тому виникає цілий набір задач, розв'язку яких присвячено праці багатьох наукових шкіл.

На наш погляд, існує тільки один шлях до наближеного розв'язання проблем транспортної інфраструктури міст. Це – інтелектуалізація системи з додаванням сучасних технічних рішень [1–4].

Побудова інтелектуальної системи керування містом концептуально можлива тільки разом із розбудовою самого міста. Отже, для міста, що має історію свого існування, можливо сегментне впровадження елементів інтелектуальних технологій.

Принципи створення транспортної моделі міста можна побачити у праці [5]. Принципи формування міської транспортної системи та концепцію транспортного планування представлено в [6–9].

Особливості проектування інтелектуальної транспортної системи для міст Москва та Дніпро розглянуто у [10; 11].

Принципи формування маршрутної мережі міст та принципи керування транспортною системою досліджено у [12–16].

Удосконалення ефективності роботи міського пасажирського транспорту займає велику частку досліджень транспортних систем і технологій [17].

Отже, дослідження проводяться цілеспрямовано за різними напрямками і в цілому сприяють об'єднанню результатів під керуванням елементів штучного інтелекту.

**Виклад основного матеріалу.** Основним видом міського пасажирського транспорту Дніпра є маршрутні таксі, маршрути яких прокладено по всій території міста. Для багатьох районів Дніпра маршрутне таксі єдиний вид міського транспорту, а в інших складає конкуренцію електротранспорту.

Транспортна система м. Дніпро являє собою сукупність транспортних засобів, інфраструктури й управління, включає 158 різних маршрутів (без урахування приміських), загальною протяжністю до 2500 км, з більш ніж 600 зупинками. В межах правого берега міста діє 87 маршрутів й одна лінія метро, лівого – 12, зв'язок між правим і лівим берегом здійснюється 59 маршрутами.

Для виконання досліджень було обрано міський автобусний маршрут № 108. Це маршрут, що має кінцеві зупинки: станція метро “Покровська” та вул. Лисенка. За системою класифікації маршрутів він є:

- За часом дії: постійний (працює упродовж усього року).
- За призначенням: маршрут, що виконує перевезення до маршрутів інших видів транспорту або транспортних вузлів.
- За характером шляху слідування: маятниковий (має шлях слідування у прямому та зворотньому напрямі по одній і тій самій трасі).
- За характером розміщення на території міста: тангенціальний (з'єднує окремі периферійні райони міста й не проходить через центр).
- За умовою використання зупинкових пунктів: *звичайний*, маршрут на якому зупинка виконується на всіх проміжних пунктах в обов'язковому порядку.

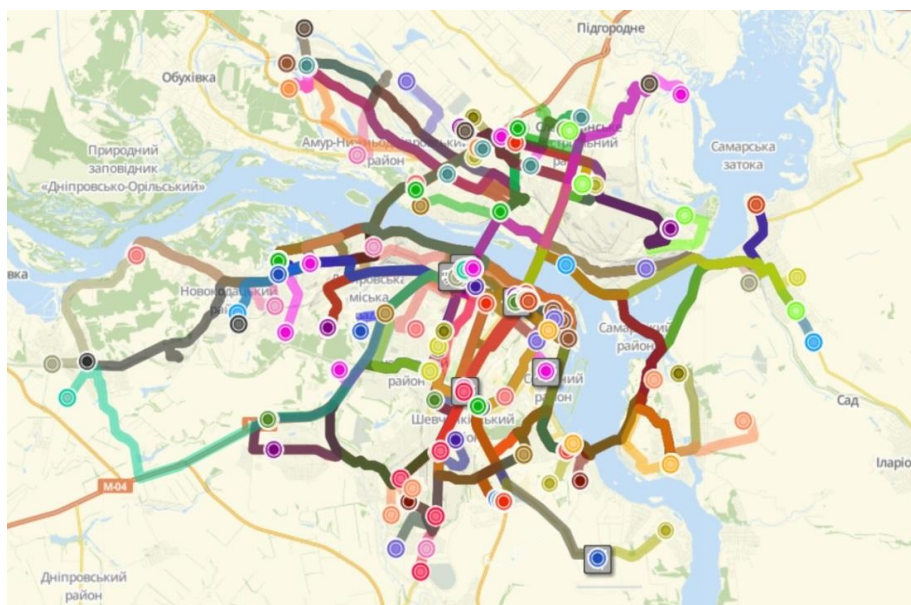


Рис. 1. Схема міських автобусних маршрутів міста Дніпра

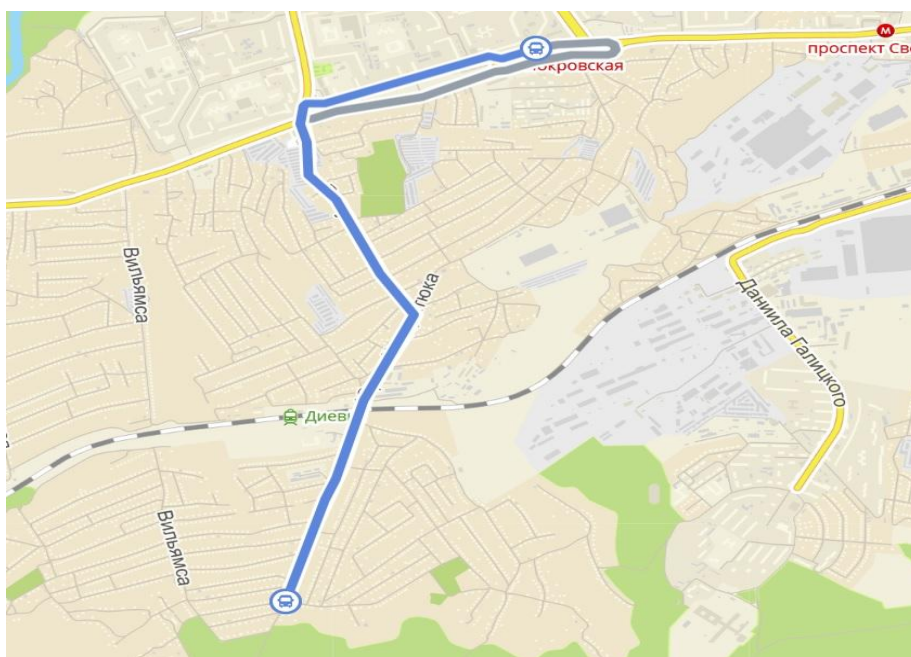


Рис. 2. Схема руху маршрутного таксі № 108



---

Як було зазначено вище, маршрут № 108 не є основним міським маршрутом, тобто не проходить через центр міста й не з'єднує спальні райони та житлові масиви з промисловими. Використовується жителями селища Діївка для того, щоб дістатися зупинок інших видів транспорту, зокрема станції метро “Покровська”, на житловому масиві “Покровський” та кінцевої зупинки багатьох маршрутних таксі на житловому масиві “Парус”.

Загальна протяжність маршруту – 4 кілометри. Середній інтервал між рейсами 10–15 хв. Починає роботу маршрут о 5:30 і закінчує о 22:00. Година-пік припадає на такі інтервали часу: з 7:00 до 10:30 та з 17:00 до 21:00. У годину-пік інтервал між рейсами на маршруті становить 5–10 хв.

Рельєф на маршруті № 108 відповідно до географічних координат, отриманих у програмі Google Earth Pro зображено на рис. 3.

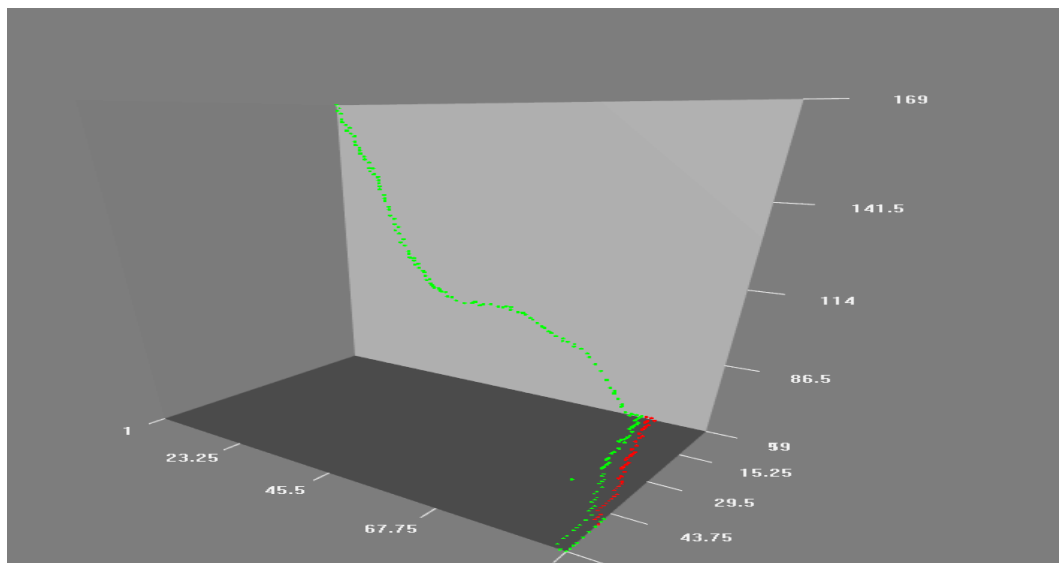


Рис. 3. 3D модель маршруту № 108

Найнижча точка маршруту міститься на висоті 60 м над рівнем моря (станція метро “Покровська”), а найвища – на висоті 169 м над рівнем моря. Максимальний ухил на маршруті – 6 градусів, а середній – 2 градуси. Перша частина маршруту (приблизно 1 км) має сталий характер, висота на цій частині маршруту не змінюється. Друга частина маршруту (приблизно 1,2 км) має нерівномірний характер зміни рельєфу – ділянки з великим кутом ухилу дороги (3–4 град.) межують з рівними ділянками (до 1 град.). Остання частина маршруту (приблизно 1,4 км) характеризується рівномірним збільшенням (зменшенням) висоти при куті ухилу дороги 3–4 градуси.

---

БАЗ-А079 “Еталон” – автобус малого класу, призначений для перевезення пасажирів на міських, приміських і міжміських комерційних маршрутах. На БАЗ-А079 “Еталон” так само, як і на всі автобуси, побудовані на основі шасі ТАТА LPT-613, встановлюється дизельний двигун індійського виробництва – ТАТА 697 ТС 55L.

Швидкісна характеристика двигуна – залежність основних показників роботи двигуна від частоти обертання (кутової швидкості) колінчастого вала. Отримана за повної подачі палива характеристика називається зовнішньою, за певної неповної сталої подачі палива – частковою. Основними показниками роботи двигуна є ефективні потужність та обертовий момент, питома й годинна витрати палива тощо.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна розраховується за емпіричними формулами:

$$N_e = N_{e\max} \left[ a \frac{n_e}{nN} + b \left( \frac{n_e}{nN} \right)^2 - c \left( \frac{n_e}{nN} \right)^3 \right], \text{кВт}, \quad (1)$$

$$M_e = 10^3 \frac{N_e}{\omega_e}, \text{Нм}, \quad (2)$$

$$g_e = g_N K \omega, \text{г/кВт/год}, \quad (3)$$

де

$a, b, c$  – параметри двигуна;

$n_e$  – поточне значення обертів колінчастого вала, об/хв;

$M_e$  – крутний момент на колінчастому валу двигуна Нм;

$\omega_e$  – кутова швидкість за максимальних обертів двигуна дорівнюватиме:

$$\omega_e = \frac{3,14 \cdot 2400}{30} = 251,2 \text{ рад/сек};$$

$g_e$  – питома витрата палива;

$g_N$  – питома витрата палива за максимальної потужності. Для дизельного двигуна  $g_N = 190 \dots 240$  г/кВт · год.

За прототипом двигуна автомобіля БАЗ-А079 “Еталон” приймаємо:  $a = 0,68$ ;  $b = 1,38$ ;  $c = 1,06$ .

$K_\omega$  – коефіцієнт, який ураховує зміну питомої витрати палива залежно від швидкості обертання вала двигуна.

$$K_{\omega} = a_{\omega} - b_{\omega} \frac{\omega_e}{\omega_N} + c_m \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2, \quad (4)$$

де  $a_{\omega} = 1,26$ ;  $b_{\omega} = 0,85$ ;  $c_m = 0,59$  – статичні коефіцієнти;

$\omega_e$  – поточне значення кутової швидкості;

$\omega_N$  – значення кутової швидкості за максимальних обертів двигуна;

Під час максимальних обертів двигуна коефіцієнт  $K_{\omega}$  дорівнює:

$$K_{\omega} = 1,26 - 0,85 \frac{251,2}{251,2} + 0,59 \left( \frac{251,2}{251,2} \right)^2 = 1.$$

За вищенаведеними залежностями виконано розрахунки, отримано результати (табл. 1). Побудовано зовнішню швидкісну характеристику.

Таблиця 1

#### Зовнішня швидкісна характеристика двигуна ТАТА 697 ТС

№ з/п	Оберти двигуна $n$ , об/хв	Потужність $N_e$ , кВт	Крутний момент $M_e$ , Н · м	Питома витрата палива $g_e$ , г/кВт · год
1	800	33,7	402	224,08
2	960	43,6	433	218,10
3	1120	50,7	432	213,24
4	1280	59,8	446	209,52
5	1440	67,9	450	206,92
6	1600	76,1	454	205,44
7	1760	82,2	446	205,10
8	1920	89,3	444	205,88
9	2080	94,3	433	207,80
10	2240	98,4	419	210,83
11	2400	101,5	404	215

---

Для подальших розрахунків потрібні значення передаточних чисел різних передач (табл. 2).

Таблиця 2

### Передаточні числа коробки передач

№ передачі	1	2	3	4	5
Передаточне число коробки передач	6,34	3,37	2,11	1,28	1

Потужний баланс автомобіля – це залежність потужності двигуна, потужності на ведучих колесах, потужності опору коченню та потужності опору повітря від швидкості автомобіля на різних передачах.

Величину потужності на ведучих колесах визначають за формулою:

$$N_k = N_e \cdot \eta_m, \text{ кВт.} \quad (5)$$

За максимальної потужності  $N_{e_{\max}}$ ,  $N_k$  дорівнюватиме:

$$N_k = 101,5 \cdot 0,88 = 89,32, \text{ кВт.}$$

Динамічна характеристика – це залежність динамічного фактора автомобіля від швидкості руху на різних передачах.

Динамічний фактор автомобіля визначається за формулою:

$$D_0 = \frac{P_k - P_n}{m_a g}, \quad (6)$$

де  $m_a$  – повна вага автобуса, що дорівнює 7730 кг;

$P_k$  – сила на ведучих колесах, яку визначають за виразом:

$$P_k = \frac{M_e \cdot U_k \cdot U_0 \cdot \eta_m}{r_k}, \quad (7)$$

де  $M_e$  – крутний момент двигуна;

$U_k$  – передавальне число поточної передачі;

---

$U_0$  – передавальне число головної передачі;

$\eta_m$  – ККД трансмісії автомобіля. Для вантажних автомобілів та автобусів на їх базі ККД = 0,85–0,92 приймаємо ККД = 0,88;

$r_k$  – радіус кочення коліс, що визначається за формулою:

$D_0$  – зовнішній діаметр шини для БАЗ-А079 дорівнює 605,75 мм;

$P_n$  – сила опору повітря, яку визначають за формулою:

$$P_n = K_n \cdot F_n \cdot V^2, \quad (8)$$

$K_n$  – коефіцієнт опору повітря рекомендується визначити залежно від типу автомобіля. Для автобуса  $K_n = 0,5Hc^2 / m^3$ ;

$F_n$  – площа міделевого перерізу автомобіля, яку визначають за формулою:

$$F_n = \alpha \cdot B_0 \cdot H_0, m^2, \quad (9)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт заповнення площі, для вантажних автомобілів та автобусів на їх базі:  $\alpha = 0,75...0,9$ .

За результатами розрахунків будемо динамічну характеристику.

Таблиця 3

### Тяговий та потужнісний баланс автомобіля

1 передача $U = 6,34$				
$V$ , м/с	$P_k$ , Н	$N_e$ , кВт	$N_k$ , кВт	$D$
1,25	23 749,96	33,7	29,66	0,313
1,50	25 581,42	43,6	38,37	0,338
1,75	25 522,34	50,7	44,62	0,337
2,00	26 349,46	59,8	52,62	0,348
2,25	26 585,77	67,9	59,75	0,351
2,49	26 822,09	76,1	66,97	0,354
2,74	26 349,46	82,2	72,34	0,348
2,99	26 231,30	89,3	78,58	0,346
3,24	25 581,42	94,3	82,98	0,337
3,49	24 754,31	98,4	86,59	0,326
3,74	23 868,12	101,5	89,32	0,315

2 передача $U = 3,37$				
$V, \text{ м/с}$	$P_k, \text{ Н}$	$N_e, \text{ кВт}$	$N_k, \text{ кВт}$	$D$
2,35	12624,19	33,7	29,66	0,166
2,82	13597,7	43,6	38,37	0,179
3,28	13566,29	50,7	44,62	0,179
3,75	14005,94	59,8	52,62	0,184
4,22	14131,55	67,9	59,75	0,186
4,69	14257,17	76,1	66,97	0,187
5,16	14005,94	82,2	72,34	0,184
5,63	13943,13	89,3	78,58	0,183
6,10	13597,7	94,3	82,98	0,178
6,57	13158,05	98,4	86,59	0,172
7,04	12687	101,5	89,32	0,166
3 передача $U = 2,11$				
$V, \text{ м/с}$	$P_k, \text{ Н}$	$N_e, \text{ кВт}$	$N_k, \text{ кВт}$	$D$
3,75	7904,17	33,7	29,66	0,104
4,50	8513,69	43,6	38,37	0,112
5,25	8494,03	50,7	44,62	0,111
6,00	8769,30	59,8	52,62	0,114
6,75	8847,95	67,9	59,75	0,115
7,50	8926,59	76,1	66,97	0,116
8,24	8769,30	82,2	72,34	0,113
8,99	8729,97	89,3	78,58	0,112
9,74	8513,69	94,3	82,98	0,109
10,49	8238,42	98,4	86,59	0,105
11,24	7943,49	101,5	89,32	0,100
4 передача $U = 1,28$				
$V, \text{ м/с}$	$P_k, \text{ Н}$	$N_e, \text{ кВт}$	$N_k, \text{ кВт}$	$D$
6,18	4794,94	33,7	29,66	0,062
7,41	5164,70	43,6	38,37	0,066
8,65	5152,78	50,7	44,62	0,065
9,88	5319,76	59,8	52,62	0,067
11,12	5367,47	67,9	59,75	0,066
12,36	5415,19	76,1	66,97	0,066
13,59	5319,76	82,2	72,34	0,064
14,83	5295,91	89,3	78,58	0,062
16,06	5164,70	94,3	82,98	0,059
17,30	4997,72	98,4	86,59	0,055
18,53	4818,80	101,5	89,32	0,052

5 передача $U = 1$				
$V$ , м/с	$P_k$ , Н	$N_e$ , кВт	$N_k$ , кВт	$D$
7,91	3746,05	33,7	29,66	0,047
9,49	4034,92	43,6	38,37	0,050
11,07	4025,61	50,7	44,62	0,049
12,65	4156,07	59,8	52,62	0,049
14,23	4193,34	67,9	59,75	0,048
15,81	4230,61	76,1	66,97	0,047
17,40	4156,07	82,2	72,34	0,044
18,98	4137,43	89,3	78,58	0,042
20,56	4034,92	94,3	82,98	0,038
22,14	3904,47	98,4	86,59	0,034
23,72	3764,69	101,5	89,32	0,030

За даними, отриманими з табл. 3, будемо графік тягової характеристики автомобіля (рис. 4).

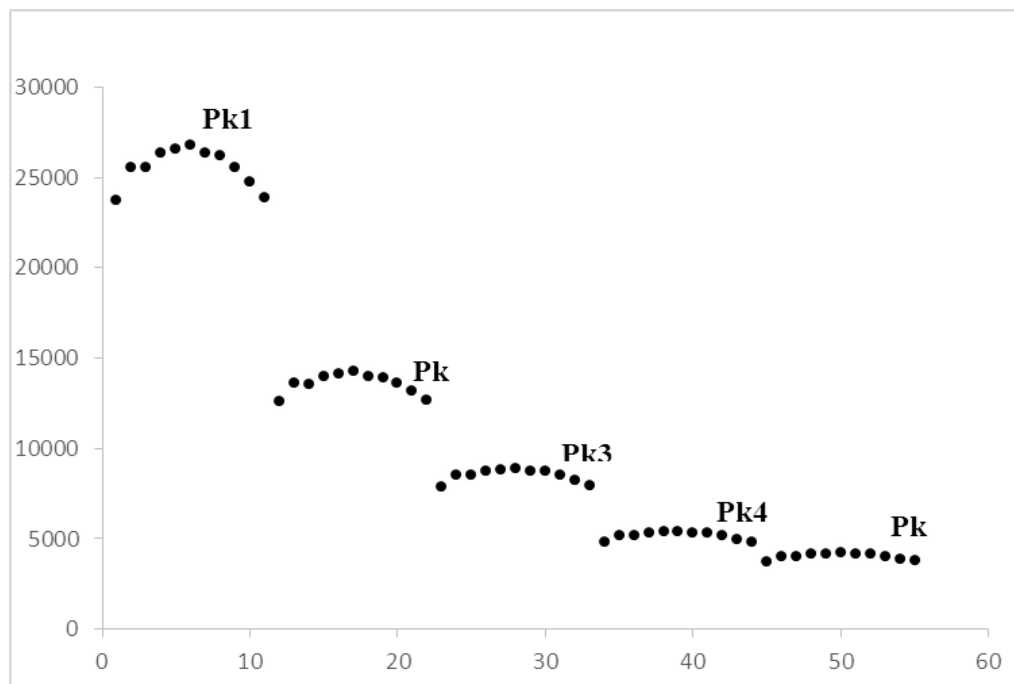


Рис. 4. Тягова характеристика двигуна автомобіля БАЗ-А079 "Еталон"

Під час визначення часу розгону автомобіля двигун працює в режимі зовнішньої швидкісної характеристики, переключення передач відбувається за максимального динамічного фактора автомобіля, а розгін починається зі швидкості автомобіля, яка відповідає мінімальним обертам двигуна й нижній передачі в трансмісії. За динамічною характеристикою автомобіля визначається швидкість автомобіля, за якої відбувається переключення передач.

Сумарний час розгону автомобіля складається з часу розгону на кожній передачі й визначається за формулою:

$$t_p = \sum_{j=1}^n \Delta t_n. \quad (10)$$

Час розгону визначається за формулою:

$$\Delta t_1 = \frac{2(V_{i+1} - V_i)\delta}{g[D_i + D_{i+1} - f_0(1 + V_i^2/1500) \cdot f_0(1 + V_{i+1}^2/1500)]}, \quad (11)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт обертових мас, що враховує обертові маси трансмісії і коліс, який розраховують за формулою:

$$\delta = 1.03 + 0.05U_k^2, \quad (12)$$

де  $U_k$  – передаточне число коробки передач, на яке визначається час розгону.

Сумарний шлях розгону автомобіля складається зі шляху, який пройде автомобіль на кожній передачі, часу і шляху за час переключення передач. Величину  $S_p$  визначаємо за формулою:

$$S_p = \sum_{i=1}^n S_i + \sum \Delta S_n. \quad (13)$$

Значення шляху під час розгону автомобіля в інтервалі швидкостей від  $V_i$  до  $V_{i+1}$ :

$$\Delta S_i = \frac{V_i + V_{i+1}}{2} \Delta t_i. \quad (14)$$

Тоді шлях розгону на  $i$ -тій передачі дорівнюватиме:

$$S_i = \sum_{i=1}^K \Delta S_1, \quad (15)$$

де  $K$  – кількість інтервалів швидкостей на  $i$ -й передачі.

На підставі обчислених даних побудовано швидкісну характеристику розгону автомобіля.



## Час та шлях розгону автомобіля

1 передача $U = 6,34$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
1,25	1,50	0,238	0,328
1,50	1,75	0,230	0,374
1,75	2,00	0,227	0,425
2,00	2,25	0,222	0,472
2,25	2,49	0,211	0,501
2,49	2,74	0,221	0,578
2,74	2,99	0,224	0,641
2,99	3,24	0,227	0,707
3,24	3,49	0,234	0,787
3,49	3,74	0,242	0,875
2 передача $U = 3,37$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
2,35	2,82	0,444	1,147
2,82	3,28	0,419	1,279
3,28	3,75	0,422	1,485
3,75	4,22	0,414	1,650
4,22	4,69	0,411	1,830
4,69	5,16	0,413	2,034
5,16	5,63	0,418	2,255
5,63	6,10	0,425	2,491
6,10	6,57	0,438	2,773
6,57	7,04	0,454	3,088
3 передача $U = 2,11$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
3,75	4,50	0,890	3,673
4,50	5,25	0,861	4,198
5,25	6,00	0,850	4,784
6,00	6,75	0,835	5,326
6,75	7,50	0,831	5,918
7,50	8,24	0,826	6,501
8,24	8,99	0,850	7,323
8,99	9,74	0,867	8,117
9,74	10,49	0,897	9,075
10,49	11,24	0,935	10,159

4 передача $U = 1,28$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
6,18	7,41	2,181	14,819
7,41	8,65	2,141	17,194
8,65	9,88	2,115	19,599
9,88	11,12	2,115	22,205
11,12	12,36	2,126	24,956
12,36	13,59	2,154	27,948
13,59	14,83	2,240	31,827
14,83	16,06	2,307	35,630
16,06	17,30	2,463	41,082
17,30	18,53	2,617	46,883
5 передача $U = 1$			
$V1, \text{ м/с}$	$V2, \text{ м/с}$	$T, \text{ с}$	$S, \text{ м}$
7,91	9,49	3,586	31,195
9,49	11,07	3,529	36,275
11,07	12,65	3,560	42,226
12,65	14,23	3,583	48,154
14,23	15,81	3,666	55,062
15,81	17,40	3,853	63,973
17,40	18,98	4,057	73,796
18,98	20,56	4,354	86,069
20,56	22,14	4,816	102,818
22,14	23,72	5,459	125,186

Також важливим показником є шлях ефективного гальмування.

Шлях ефективного гальмування визначається за умови переходу кінетичної енергії автомобіля в роботу сил тертя між протектором шини та дорогою:

$$S_e = \frac{V_a^2}{2g\varphi}, \quad (16)$$

де  $\varphi = 0,6, \dots, 0,7$  – коефіцієнт зчеплення.

На підставі обчислених даних побудовано швидкісну характеристику розгону автомобіля.

## Гальмівний шлях автобуса БАЗ-А079 “Еталон”

U1		U2		U3		U4		U5	
V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м	V, м/с	Se, м
1,25	0,122	2,35	0,432	3,75	1,102	6,18	2,996	7,91	4,91
1,50	0,176	2,82	0,622	4,50	1,587	7,41	4,314	9,49	7,07
1,75	0,239	3,28	0,847	5,25	2,161	8,65	5,871	11,07	9,62
2,00	0,313	3,75	1,106	6,00	2,822	9,88	7,669	12,65	12,56
2,25	0,396	4,22	1,400	6,75	3,572	11,12	9,706	14,23	15,90
2,49	0,488	4,69	1,729	7,50	4,410	12,36	11,982	15,81	19,63
2,74	0,591	5,16	2,092	8,24	5,336	13,59	14,498	17,40	23,75
2,99	0,703	5,63	2,489	8,99	6,350	14,83	17,254	18,98	28,27
3,24	0,825	6,10	2,921	9,74	7,452	16,06	20,250	20,56	33,18
3,49	0,957	6,57	3,388	10,49	8,643	17,30	23,485	22,14	38,48
3,74	1,099	7,04	3,889	11,24	9,921	18,53	26,960	23,72	44,17

Визначення оптимального режиму руху автобуса базуватиметься на даних з табл. 1, 2, 3, 4, 5. Для кожної ділянки маршруту дібрано режим руху, що залежить від рельєфних показників ділянки та задовольняє умову ефективної витрати палива й потужності двигуна.

На кожній ділянці маршруту було встановлено швидкісний проміжок: від 40 до 60 км/год для рівних ділянок та від 25 до 60 км/год – для ділянок з ухилом. Такий проміжок був установлений як оптимальний, автобус, рухаючись у такому діапазоні швидкостей, не перевищуватиме дозволений швидкісний ліміт для руху в межах міста й не заважатиме іншим учасникам дорожнього руху, рухаючись занадто повільно. Розгін до швидкості 40 км/год виконується з використанням максимальної потужності двигуна, тому в розрахунках участі не бере.

Маршрут № 108 було поділено на 11 ділянок в один та інший бік.

Швидкісний діапазон:  $V1 = 11\text{--}16$  м/с (40–60 км/год)  $V2 = 6,75\text{--}16$  м/с (25–60 км/год);

Загальна протяжність маршруту:  $S = 3,65$  км.

Шлях розгону до швидкості 40 км/год:  $S = 90$  м; до 25 км/год:  $S = 50$  м;

Гальмівний шлях для різних швидкостей показано в табл. 5 (для 40 км/год  $S_{\text{г}} = 9,62$  м).

## Розрахунок режиму руху для ділянки 1-11

$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
11–16	313	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
11–16	548	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
6,75–8,99	109	0	3	67,9–89,3	444–454	205,1–206,9
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
6,00–9,74	558	4	3	59,8–94,3	433–454	205,1–209,5
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
6,75–10,5	377	2,3	3	67,9–98,4	419–454	205,1–210,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
9,88–14,8	251	1	4	67,9–89,3	444–454	205,1–206,9
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
11–16	236	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
8,99–10,5	401	1,8	3	89,3–98,4	419–444	205,8–210,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
6,00–9,74	189	4	3	59,8–94,3	433–454	205,1–209,5
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
7,5–9,74	332	3	3	76,1–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{е}}$ , кВт	$M_{\text{е}}$ , Н·м	$g_{\text{е}}$ , г/кВт·год
7,5–9,74	306	3	3	76,1–94,3	433–454	205,1–207,8

Під час руху на маршруті № 108 у напрямку вул. Лисенка – станція метро “Покровська” на ділянках з достатнім ухилом АТЗ рухатиметься за допомогою вибігу (накатом), водієві достатньо підтримувати зазначений швидкісний режим, час від часу натискаючи на педаль газу, на проміжках після розгону до 40 км/год та до гальмування на зупинках.

Визначений режим руху для кожної ділянки маршруту забезпечує ефективне використання потужності двигуна та паливно-економічну ефективність транспортного засобу під час руху в умовах міста.

## Розрахунок режиму руху для ділянки 11-1

$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	337	– 3	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	267	– 3	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	236	– 4	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	409	– 1,7	5	59,8–76,1	446–454	205,4–209,5
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	235	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–206,9
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
12,6– 15,8	274	– 0,9	5	59,8–82,2	446–454	205,1–209,5
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–15,8	354	– 2,1	5	50,7–76,1	432–454	205,4–213,2
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
8–16	487	– 3,7	5	33,7–82,2	402–444	205,1–224
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	736	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
11–16	204	0	4	67,9–94,3	433–454	205,1–207,8
$V$ , м/с	$S$ , м	$\alpha$ , град.	$U$	$N_{\text{г}}$ , кВт	$M_{\text{г}}$ , Н·м	$g_{\text{г}}$ , г/кВт·год
8,6–13,6	625	0	4	50,7–82,2	432–454	205,1–213,2

---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Паливна економічність та раціональне використання потужнісних ресурсів двигуна автотранспортного засобу дає змогу суттєво знизити витрати на паливо та його обслуговування. В сучасних умовах пасажирських перевезень, вартості палива та мастильних засобів економія на цих витратних матеріалах дає змогу суттєво знизити витрати на перевезення для транспортних компаній та автотранспортних підприємств.

Аналіз принципів формування та стан транспортної системи міста Дніпро показав, що транспортна система міста має нерівномірний розподіл розгалуженості, тобто в центрі та прилеглих до нього районах міста розгалуженість транспортних маршрутів досить велика, а на околицях міста коефіцієнт розгалуженості зменшується, що виражається в невеликій кількості різноманітних транспортних шляхів.

На розглянутому маршруті № 108, визначено рельєфні особливості маршруту, що насамперед дає змогу розробити більш ефективний графік руху автотранспортного засобу, що, зі свого боку, даватиме змогу водієві, на основі цих даних, використовувати потужність двигуна з максимальною користю. Розраховано зовнішню швидкісну характеристику, тягово-швидкісний баланс та паливно-економічну характеристику двигуна розглянутого транспортного засобу. На основі цих даних обрано режим руху для кожної ділянки маршруту, що відповідатиме найменшим витратам палива та потужності двигуна.

Проблемою реалізації цього плану є донесення до водія інформації про оптимальне використання потужності двигуна залежно від дорожніх обставин. Є декілька способів розв'язання цієї проблеми:

1. Установлення спеціальних дорожніх знаків, які вказуватимуть швидкісний та потужнісний режим для конкретної ділянки маршруту, дотримуючись якого, водії матимуть змогу більш ефективно долати великі й малі відстані.

2. Обладнання автобусів спеціальними навігаторами, що будуть сповіщати водія про оптимальний режим руху на ділянці, до якої наближається автобус.

3. Розробка спеціального мобільного додатка для водіїв, що сповіщатиме їх про оптимальний режим руху на наступній ділянці маршруту.

Реалізація цих способів дозволить суттєво знизити витрати автотранспортних підприємств на перевезення.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Фірсов О. Д., Бібля А. Н.* Проектування інтелектуальної транспортної системи міста // Вісник АМСУ. Серія: "Технічні науки". 2015. № 1 (53). С. 20–31. URL: [file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn\\_2015\\_1\\_5.pdf](file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn_2015_1_5.pdf)

---

2. Мозлевич Г. Я., Риздванецький Д. В. Оптимізація функціонування міського транспорту шляхом впровадження інтелектуальних транспортних систем. 2013. 7 с.

3. Кочегурова Е. А., Мартынова Ю. А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 5. Т. 323. С. 56–57.

4. Алексеев О. П., Пронин С. В. Интеллектуализация транспортных систем в задачах розвитку великих міст // Автомобільний транспорт. 2007. № 21. URL: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-sistem-v-adachah-razvitiya-bolshih-gorodov>

5. Осетрін М. М., Беспалов Д. О., Дорош М. І. Основні принципи створення транспортної моделі міста. URL: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzupu-stvorennuya-transportnoi-modeli-mista>

6. Принципы формирования городской транспортной системы. URL: <https://konspekta.net/lek-16024.html>

7. Гаген А. Транспортне планування: мета та інструменти. URL: <http://urbanua.org/eksperty/ukrayinski-eksperty/95>, 2017

8. Комаров В. В., Гараган С. А. Архітектура і стандартизація телематичних і інтелектуальних транспортних систем. Зарубіжний досвід і вітчизняна практика. Москва: Энергия, 2012. 352 с.

9. Гузенко А. В. Розвиток міського пасажирського транспорту мегаполіса: проблеми та перспективи // Вісник Томського державного університету. 2009. № 321.

10. Бернстайн В. Транспортная концепция Днепра: очевидное невероятное от горсовета. URL: <https://dengi.informator.ua/2016/12/21/transportnaya-kontseptsiya-dnepra-ochevidnoe-neverooyatnoe-ot-gorsoveta/>

11. Інтелектуальна транспортна система Москви // ЦОДД. URL: <http://www.gucodd.ru/index.php/component/content/article/58>

12. Грабельников В. А., Шевченко О. В. Організація регулювання системою міського громадського пасажирського транспорту // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2013. № 4. С. 4–9. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdiat\\_2013\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdiat_2013_4_3)

13. Маршрутная система городского пассажирского транспорта. URL: <https://studfiles.net/preview/5609178/page:26/>

14. Мелихов В. А., Гудков В. А. Принципы формування маршрутної мережі. URL: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/printsipy-formirovaniya-marshrutnoy-seti>

15. Бойко Г. В. Методика оптимізації структури транспорту для обслуговування міських пасажирських перевезень. Волгоград: ВДТУ, 2006. 162 с.

---

16. *Возулякова А. С.* Управління рухом міського транспорту. URL: <http://www.beriki.ru/2008/10/18/upravlenie-dvizheniem-gorodskogo-transporta-chast-1>

17. *Енин Д. В., Бочаров М. А.* Удосконалення ефективності роботи міського пасажирського транспорту відповідно до заданого розкладу руху. URL: [http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom\\_2003/enin.htm](http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom_2003/enin.htm)

### Referenses:

1. Firsov O. D. and Biblya A. N. (2015), Proektuvannya intelektual'noi transportnoi systemy mista [Designing the city's intelligent transportation system], AMSU. Series: "Technical Sciences ", vol. 1 (53), p. 20–31. URL: [file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn\\_2015\\_1\\_5.pdf](file:///D:/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vamsutn_2015_1_5.pdf)

2. Mozlevych H. Ya. and D. V. Ryzdvanec'kyi (2013), Optimizaciya funkcionuvannya mis'kogo transportu shlyahom vprovadzhennya intelektual'nih transportnih system [Optimization of the functioning of urban transport through the introduction of intelligent transport systems], p. 2–17 [Ukraine]

3. Kochehurova E. A. and Martinova Yu. A. (2013), Optimizaciya skladannya marshrutiv gromads'kogo transportu pri stvorenni avtomatizovanoi sistemi pidtrimki priinyattya rishen' [Optimization of public transport routes when creating an automated decision support system], journal Izvestiya Toms'kogo politekhnichnogo universitetu., vol. 5 (323), p. 56–57. [Ukraine]

4. Alekseev O. P. and Pronin S. V. (2007), Intelektualizaciya transportnih sistem v zadachah rozvitku velikih mist [Intellectualization of transport systems on the problems of the development of large cities], journal Avtomobil'nij transport, vol. 21, available at: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-sistem-v-adachah-razvitiya-bolshih-gorodov> [Ukraine]

5. Osetrin M. M., Bepalov D. A. and Dorosh M. I. (2015), Osnovni principi stvorennya transportnoi modeli mista [Basic principles of creating a city transport model], site, available at: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzypu-stvorennya-transportnoi-modeli-mista> [Ukraine]

6. Principi formuvannya mis'koi transportnoi sistemi [Principles of formation of urban transport system], site, available at: <https://konspekta.net/lek-16024.html> [Ukraine]

7. Gagen A. (2017), Transportne planuvannya: meta ta instrumenti [Transport planning: goals and tools], site, available at: <http://urbanua.org/eksperty/ukrayinski-eksperty/95> [Ukraine]

8. Komarov V. V. and Garagan S. A. (2012), Arhitektura i standartizaciya telematichnih i intelektual'nih transportnih sistem. Zarubizhnij dosvid i vitchiz-



---

nyana praktika [Architecture and standardization of telematics and intelligent transport systems.Foregin experience and domestic practic], journal, Energiya, 2012, 852 p. [Ukraine]

9. Huzenko A. V. (2009), Rozvitok mis'kogo pasazhirs'kogo transportu megapolisu: problemi ta perspektivi [Development of urban passenger transport of the metropolis: problems and perspectives], journal Visnik Toms'kogo derzhavnogo universiteta, vol.321, pp. 64–85. [Ukraine]

10. Bernstajn V. (2016), Transportna koncepciya Dnipra [Transport concept of the Dnieper], site, available at: <https://dengi.informator.ua/2016/12/21/transportnaya-kontsepsiya-dnepra-ochevidnoe-neveroyatnoe-ot-gorsoveta/> [Ukraine]

11. Intelktual'na transportna sistema Moskvi (2012), [Intellectual transport system of Moscow], site, available at: <http://www.gucodd.ru/index.php/component/content/article/58> [Ukraine]

12. Grabel'nikov V. A. and Shevchenko O. V. (2013), Organizaciya reguluvannya sistemoyu mis'kogo gromads'kogo pasazhirs'kogo transportu [Organization of regulation of the urban passenger transport system] : article, p. 4–26 [Ukraine]

13. Marshrutna sistema mis'kogo pasazhirs'kogo transport [Route system of urban passanger transport], site, available at: <https://studfiles.net/preview/5609178/page:26/> [Ukraine]

14. Melihov V. A. and Gudkov V. A. (2011), Principi formuvannya marshrutnoï merezhi [Principles of the route network formation], site, available at: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/printsipy-formirovaniya-marshrutnoy-seti> [Ukraine]

15. Boiko H. V. (2006), Metodika optimizacii strukturi transportu dlya obslugovuvannya mis'kih pasazhirs'kih perevezen' [Method of optimization of the structure of transport for servicing urban passenger transportation], tutorial, VDTU, 162 p. [Ukraine]

16. Vogulyakova A. E. Upravlinnya ruhom mis'kogo transportu [Urban traffic managment], site, available at: <http://www.beriki.ru/2008/10/18/upravlenie-dvizheniem-gorodskogo-transporta-chast-1> [Ukraine]

17. Enin D. V. and Bocharov M. A. Udoskonalennya efektyvnosti roboti mis'kogo pasazhirs'kogo transportu vidpovidno do zadanogo rozkladu ruhu [Improving the efficiency of urban passenger transport in accordance with the set schedule], site, available at: [http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom\\_2003/enin.htm](http://www.science-bsea.narod.ru/2003/ekonom_2003/enin.htm) [Ukraine]

**Ю. С. Тарасенко**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів  
**В. В. Смірнов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**Д. І. Прокопович-Ткаченко**, кандидат технічних наук, виконувач обов'язків завідувача кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ МИТНОГО КОНТРОЛЮ**

*Розглянуто актуальну проблему особливостей виявлення прихованих об'єктів штучного походження, які перебувають в умовах взаємодії з контрольно-вимірною радіоапаратурою митного контролю. Здійснено порівняння характеристик розсіювання об'єкта у вигляді як комплексного коефіцієнта відбиття (отриманого за допомогою моделі радіоканалу), так і ефективної площини розсіювання об'єкта. Наведено основне рівняння нелінійної радіолокації, яке описує поведінку двокомпонентної радіосистеми, в якій у відображенні нелінійними елементами об'єкта, що опромінюється, вносяться деякі амплітудно-частотні перетворення зондувального сигналу передавача радіолокаційної станції.*

Ключові слова: митний контроль; об'єкти штучного походження; комплексний коефіцієнт відбиття; ефективна площина розсіювання об'єкта.

*Рассмотрена актуальная проблема особенностей выявления скрытых объектов искусственного происхождения, находящихся в условиях взаимодействия с контрольно-измерительной радиоаппаратурой таможенного контроля. Выполнено сравнение характеристик рассеивания объекта как в виде комплексного коэффициента отражения (полученного с помощью модели радиоканала), так и в виде эффективной плоскости рассеивания объекта. Приведено основное уравнение нелинейной радиолокации, описывающее*

© Ю. С. Тарасенко, В. В. Смірнов, Д. І. Прокопович-Ткаченко, 2019

---

*поведение двухкомпонентной радиосистемы, в которой в отображения нелинейными элементами облучаемого объекта вносятся некоторые амплитудно-частотные преобразования зондирующего сигнала передатчика радиолокационной станции.*

*Ключевые слова: таможенный контроль; объекты искусственного происхождения; комплексный коэффициент отражения; эффективная плоскость рассеивания объекта.*

*With the advent of near and later non-linear types of radar, it became possible to solve, in addition to radar, a number of other applied problems, such as problems of diagnostic and flaw detection, customs control, humanitarian demining, forensic science, archeology and construction with terrorism.*

*The article deals with the actual problem of peculiarities of detection of hidden objects of artificial origin, which are in the conditions of interaction with the control and measuring radio equipment of customs control, which do not satisfy the criterion of the far zone.*

*The object/targets catering characteristics were compared both in the form of a complex reflection coefficient (obtained using a radio channel model) and in the form of an effective object/targets catering plane.*

*In general, the object/target is displayed from the point of view of anisotropic fixed-point emitter  $f$  for a fixed stationary orientation of the signal/signal relative to the propagation direction of the incident and reflected waves of stability of the polarization characteristics of the transmitting and receiving antennas of the radar.*

*The basic nonlinear radar equation is described, which describes the behavior of a two-component radio system, in which some amplitude-frequency transformations of the radar transmitter sounding transducer signal are introduced into the reflection by nonlinear elements of the irradiated object/target.*

*Basically, nonlinear radio signals describing the behavior of a two-component radio system are considered, since the secondary reflection contains nonlinear signal elements that are often used to transmit frequency signals.*

*The results of the nonlinear transformation of the sounding signal on nonlinear elements with harmonic frequencies are combinations there of are based on the analysis of the scattering properties of the model in the form of antennas with the nonlinearities included there in.*

*The task of expediency of carrying out full-scale experimental researches of character of behavior of effective reflection ability of specific typical objects for drawing up of a databank containing portraits of hidden images of typical customs control object is set.*

*Key words: customs control; objects of artificial origin; complex reflection coefficient; effective scattering plane of the object.*

**Постановка проблеми.** З появою ближньої [1], а в подальшому й не-лінійної радіолокації [2] з'явилася можливість розв'язувати, крім радіолокаційних [3–7], цілу низку інших прикладних задач, наприклад завдань діагностичного й дефектоскопічного характеру, митного контролю, гуманітарного розмінування, криміналістики, археології, будівництва та боротьби з тероризмом [8]. З огляду на це актуальний розгляд особливостей вимірювання характеристик розсіяного поля на об'єктах (цілях) штучного походження (у тому числі прихованих), які перебувають в умовах взаємодії з контрольно-вимірювальною радіоапаратурою, що не задовольняє критерій дальньої зони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За визначенням ефективна площа розсіювання (далі – ЕПР або ЕВП, тобто ефективна відбивна поверхня) являє собою розмірний коефіцієнт пропорційності між густиною потоку опромінювальної потужності електромагнітної хвилі в точці розташування об'єкта (цілі) й повною, розсіяною цим об'єктом (ціллю) потужністю.

При цьому об'єкт (ціль) зображують у вигляді ізотропного точкового випромінювача із фіксованою частотою випромінювання  $f$  за незмінної орієнтації об'єкта (цілі) щодо напрямку поширення падаючої та відбитої хвиль і сталості поляризаційних характеристик передавальної та приймальної антен радіолокаційної станції (далі – РЛС) [3; 9]:

$$\sigma(\theta, \varphi) = \lim_{R_0 \rightarrow \infty} \frac{4\pi R_0^2 |E_s|^2}{|E_r|^2}, \quad (1)$$

де  $\theta, \varphi$  – кутове положення об'єкта (цілі) щодо напрямків опромінювального поширення і розсіяних хвиль;

$E_r$  і  $E_s$  – відповідно падаюче поле на розсіювальний об'єкт (ціль) і розсіювальне (відбите) поле в далекій зоні.

Умова  $R_0 \rightarrow \infty$  підтверджує доцільність знаходження об'єкта (цілі) в далекій зоні, в якій хвильовий процес можна зобразити за допомогою плоских хвиль.

Наприклад, ЕВП об'єктів (цілей), описуваних моделлю ідеально провідного тіла, розміри якого значно більші за довжину хвилі, має вираз [3]:

$$\sigma_{\text{вті}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \int_{S_{\text{осв}}} \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} 2\Delta r') dS' \right|^2, \quad (2)$$

де  $\Delta r = r - D$  – різниця ходу;

$D$  і  $r$  – відповідно відстані від РЛС до відлікової площини об'єкта й до довільної точки на освітленій поверхні будь-якої виділеної плоскої елементарної ділянки завдовжки  $dl$  й завширшки  $da$ ;

$S_{\text{осв}}$  – площа освітленої поверхні;

$$dS' = d_\ell \cdot da \cdot \cos\theta.$$

Отже, ЕВП  $\sigma_{об}$  залежить від форми, розмірів об'єкта (цілі), її орієнтації щодо напрямку опромінення й довжини хвилі.

**Мета статті** полягає в розгляді особливостей вимірювання характеристик розсіяного електромагнітного поля на прихованих об'єктах штучного походження, які перебувають в умовах взаємодії з контрольно-вимірювальною радіоапаратурою митного контролю, що не задовольняє критерій дальньої зони; порівняння характеристик розсіювання об'єкта як у вигляді комплексного коефіцієнта відбиття (отриманого за допомогою моделі радіоканалу), так і його (об'єкта) ЕВП з акцентом на правомірність, доцільність і однозначність їхнього використання.

**Виклад основного матеріалу.** Розглядаючи пізнавальну модель у вигляді радіоканалу, доцільно ввести поняття комплексного коефіцієнта відбиття у вигляді співвідношення [10]:

$$\rho_\ell(\theta, \varphi) = \lim_{R_0 \rightarrow \infty} \sqrt{4\pi R_0} \frac{E_S(\theta, \varphi)}{E_r(\theta, \varphi)} \quad (3)$$

або

$$\rho_\ell(\theta, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_S \vec{p}_i \cdot \vec{n} e^{-ip_i r} dS. \quad (4)$$

Комплексний коефіцієнт відбиття  $\rho_\ell(\theta, \varphi)$  містить інформацію не тільки про амплітуду, але й про фазу розсіяного поля, причому фазовий множник відповідає місцю розташування тієї локально-відбивної особливості поверхні об'єкта (наприклад, у вигляді “блискучої” або “дзеркальної” точки), на якій відбулося розсіювання (відбиття).

Наприклад, для сфери радіуса  $a$  співвідношення (4) після обчислення інтеграла має вигляд:

$$\rho_\ell = \frac{\kappa a}{2} (1 - i/(2\kappa a)) e^{-2i\kappa a}. \quad (5)$$

Отже, обираючи за точку відліку фази центр сфери, комплексний коефіцієнт відбиття можна записати так:

$$\rho_\ell(\theta, \varphi) = |\rho_\ell(\theta, \varphi)| e^{i\psi}, \quad (6)$$

де  $\psi = \Delta\psi + \psi^*$ ;  $\Delta\psi = 2\pi R_0/\lambda$  – фазове набігання, що залежить від дальності  $R_0$ ;

$\psi^* = 2\kappa \ell^*$  – додаткове фазове набігання, отримане за рахунок відстані

$\ell^*$  від локальної розсіювальної точки (області) на об'єкті до відлікової фазової площини.

---

Кутові залежності амплітуди (модуль  $|\rho_\ell(\theta, \varphi)|$ ) і фази розсіювального поля прийнято вважати найпростішими радіолокаційними характеристиками (далі – РЛХ) об'єкта. Зазначені РЛХ зазвичай зображують у вигляді кругових діаграм (діаграм розсіювання), що характеризують залежність відбивних властивостей об'єкта від кута падіння хвилі на об'єкт і від кута між напрямками опромінення і прийняття.

Для складних об'єктів, таких як приховані об'єкти штучного походження, можна досліджувати явище розсіювання за допомогою поняття елементарних відбивачів або центрів розсіювання.

У цьому випадку об'єкт у цілому зображують набором центрів, кожен з яких викликає розсію хвилю з деякою амплітудою, фазою і поляризацією. Відтак кожний такий центр перевипромінювання, локалізований на об'єкті, можна характеризувати його амплітудною діаграмою, діаграмою ЕПР і фазовою діаграмою. Подібні характеристики прийнято називати локальними характеристиками розсіювання. Вони можуть бути визначені, наприклад, на основі застосування методу крайових хвиль (далі – МКХ) або геометричної теорії дифракції (далі – ГТД), які використовують концепцію центрів розсіювання [10]. При цьому розташування центрів розсіювання на об'єкті можна визначити з огляду на фізичні міркування (як правило, тільки для простих об'єктів) або експериментальні дані. Звідси впливає потреба створення банку даних за образами об'єктів штучного походження (у тому числі прихованих), до подібних відбитків пальців або рогівки очей.

У підсумку значення повної ЕПР (ЕВП) можна оцінювати, послуговуючись характеристиками окремих локальних центрів та використовуючи співвідношення вигляду:

$$\sigma(\theta, \varphi) = \left| |\rho_{\ell_1}(\theta, \varphi)| e^{i\psi_1} + \dots + |\rho_{\ell_n}(\theta, \varphi)| e^{i\psi_n} \right|^2; \quad \Psi_n = 2\kappa d_n + \psi_{n0}, \quad (7)$$

де  $d_n$  – відстань від  $n$ -го локального центра розсіювання до відлікової фазової площини з початковою фазою  $\psi_{n0}$ .

Слід звернути увагу, що використані поняття коефіцієнта відбиття  $q$  ефективної площі вторинного випромінювання припускають певні виправдані припущення.

Так, коефіцієнт відбиття, що описує розсіювальні властивості об'єкта, реалізований за допомогою математичної моделі у вигляді радіолокаційного каналу, в якому сам об'єкт є незалежним елементом даного інформаційного каналу.

Поняття ж ЕВП/ЕПР вводилося принаймні за двох припущень [10]:

- спадна хвиля на розсіювальному об'єкті приймалася за плоску й монохроматичну;

▪ напруженість відбитої (розсіяної) електромагнітної хвилі вимірювалася на достатній відстані від розсіювального об'єкта, при цьому хвилю вважали також плоскою.

Як відомо [9–12], ці припущення вважають виправданими, якщо дотримано умов реалізації критерію далекої зони або враховано особливості електромагнітних полів у близькій зоні взаємодії об'єкта з контрольно-вимірювальною апаратурою (наприклад, за ближньої радіолокації).

Таким чином, для опромінення об'єктів на несучій частоті доцільно застосовувати поняття ЕПР об'єктів/цілей з подальшою метою створення банку даних для розпізнавання прихованих об'єктів митного контролю.

У разі використання складних зондувальних сигналів, скажімо, під час опромінення об'єктів дослідження надширококустовими сигналами, бажано послуговуватися поняттям коефіцієнтів відбиття. При цьому очевидно, що оптимальність застосування того чи іншого поняття (ЕВП або коефіцієнта відбиття) насамперед визначають рівнем складності поверхні досліджуваного об'єкта, що, як правило, залежить від вибору методу його дослідження та умов реалізації експерименту.

Водночас прийнято зображати процес спостереження в умовах нелінійної радіолокації (далі – НРЛ) у вигляді радіосистеми, де у відбиття від об'єкта нелінійними елементами цього об'єкта вноситься деяке амплітудно-частотне перетворення зондувального сигналу передавача РЛС. У цьому випадку основне рівняння НРЛ має вигляд [11]:

$$P_{n \text{ пр}} = \frac{P_{\text{випр}} G_{\text{випр}} G_{n \text{ пр}} \lambda^2}{4\pi R_d^4} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^2 K_1(\omega) K_2(\omega_n) G_{\text{ц.пр}} G_{n \text{ випр ц}} K_{\text{пр}}(\omega) K_{\text{випр}}(\omega) \xi_n(\omega, P_{\text{випр}}), \quad (8)$$

де  $R_d$ ,  $\lambda$  – відповідно відстань до об'єкта й довжина хвилі опромінення;

$P_{\text{випр}}$ ,  $G_{\text{випр}}$ ,  $P_{n \text{ пр}}$ ,  $G_{n \text{ пр}}$  – відповідно вихідні на основній частоті й вхідні на  $n$ -й гармоніці зондувального сигналу потужності і коефіцієнти підсилення передавача й приймача активної РЛС;

$K_1(\omega)$ ,  $K_2(\omega_n)$  – коефіцієнти, що характеризують дисперсію середовища поширення на основній і  $n$ -й гармоніці відповідно зондувального й перевипроміненого об'єктом сигналів;

$G_{\text{ц.пр}}$ ,  $G_{n \text{ випр ц}}$  – відповідно коефіцієнти підсилення об'єкта в режимі приймання нелінійними елементами і його перевипромінення на  $n$ -й гармоніці;

$K_{\text{пр}}(\omega)$ ,  $K_{\text{випр}}(\omega)$  – коефіцієнти, що відповідають за частотну залежність лінійних кіл об'єкта відповідно в режимі приймання й перевипромінення;

$\xi_n(\omega, P_{\text{випр}})$  – коефіцієнт перетворення нелінійними елементами об'єкта потужності зондувального сигналу на потужність вищих гармонійних складових.

---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Очевидна складність, а в більшості випадків нелінійних об'єктів – неможливість прямого використання співвідношення (8), оскільки прогнозування поведінки його параметрів  $K_1(\omega)$ ,  $K_2(\omega_n)$ ,  $K_{пр}(\omega)$ ,  $K_{випр}(\omega)$ ,  $\xi_n(\omega, P_{випр})$  залишається практично нездійсненним завданням. Тому, як правило, результати нелінійного перетворення зондувального сигналу на нелінійних елементах із частотами гармонік або їх комбінацій ґрунтуються на аналізі розсіювальних властивостей моделі у вигляді антени або антен із включеними в них нелінійностями [9–12]. Доцільне проведення натурних (експериментальних) досліджень характеру поведінки ЕПР конкретних типових об'єктів з метою комплектації портретів прихованих об'єктів митного контролю.

Крім того, у перспективі необхідно враховувати особливості забезпечення нормативних вимог під час проведення радіотехнічних вимірювань даного профілю, здатного забезпечити рівень гарантованих вимірювань у малому довірчому інтервалі припустимих похибок виявлення прихованих об'єктів штучного походження.

#### **Список використаних джерел:**

1. Каргашин В. Л., Ткач В. Н., Ткачев Д. В. Нелинейная ближняя радиолокация. Новые алгоритмы идентификации электронных устройств // Специальная техника, ОАО “Электрозавод”. 2006. № 6. С. 42–48.
2. Мусабеков П. М., Паньчев С. Н. Нелинейная радиолокация: методы, техника и области применения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2000. № 5. С. 54–61.
3. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. Москва: Радиотехника, 2007. 512 с.
4. Зинченко М. В., Во Зуй Фук, Зиньковский Ю. Ф. Тестирование нелинейных радиолокаторов на надежность идентификации // Вестник НТУУ “КПИ”. Серия: Радиотехника. Радиоаппаратостроение. 2017. № 68. С. 48–53.
5. Зинченко М. В., Во Зуй Фук, Зиньковский Ю. Ф. Исследование спектральных характеристик рассеивающих МОМ-структур в нелинейной локации // Вестник НТУУ “КПИ”. Серия: Радиотехника. Радиоаппаратостроение. 2017. № 70. С. 11–16.
6. Вернигоров Н. С., Кузнецов Т. В. К вопросу о принципе сравнения в нелинейной радиолокации // ИНФОРМОСТ “Радиоэлектроника и телекоммуникации”. 2002. № 3 (21). С. 8–14.



---

7. Бельчиков А. В., Мишустин Б. А., Дзисяк А. Б., Зайцев В. К. Взгляд разработчиков нелинейных локаторов серии «Лорнет» на некоторые актуальные вопросы нелинейной локации // Техника. Арсенал. Специальная техника. 2011. № 5. С. 14–20.

8. Щербаков Г. Н. Обнаружение скрытых объектов для гуманитарного разминирования, криминалистики, археологии, строительства и борьбы с терроризмом. Москва: Арбат-Информ, 2004. 144 с.

9. Тарасенко Ю. С. Фізичні основи радіолокації. Дніпро: Пороги, 2011. 487 с.

10. Львова Л. А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов. Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. 232 с.

11. Вернигоров Н. С. Процесс нелинейного преобразования и рассеяния электромагнитного поля электрически нелинейными объектами // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. С. 11–13.

12. Шифрин Я. С. Нелинейные эффекты в антеннах // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 4. С. 33–44.

#### References:

1. Kargashin V. L., Tkach V. N. and Tkachev D. V. (2006), “*Nelineynaya blizhnyaya radiolokatsiya. Novyye algoritmy identifikatsii elektronnykh ustroystv*” [“Nonlinear near-field radar. New algorithms for identification of electronic devices”], journal *Spetsial'naya tekhnika, OAO "Elektrozavod"* [Special equipment, JSC “Elektrozavod”, vol. 6, pp. 42–48.

2. Musabekov P. M. and Panychev S. N. (2000), “*Nelineynaya radiolo-katsiya: metody, tehnika i oblasti primeneniya*” [“Nonlinear radar: methods, techniques and applications”], journal *Zarubezhnaya radioelektronika. Uspehi sovremennoy radioelektroniki* [Foreign Radio Electronics. Successes of Modern Radio Electronics], vol. 5, pp. 54–61.

3. Handbook / ed. Ya. D. Shirman (2007), *Radioelektronnyye sistemy: osnovy postroyeniya i teoriya* [Radio-electronic systems: fundamentals of construction and theory], Press Radiotekhnika, Moscow, 512 p.

4. Zinchenko M. V., Wo Zui Fook and Zinkovsky Yu. F. (2017), “*Testirovanie nelineynykh radiolokatorov na nadezhnost identifikatsii*” [“Nonlinear radar testing for identification reliability”], bulletin *Vestnik NTUU "KPI", Seriya: Radiotekhnika. Radioapparatostroenie*. [Bulletin of NTUU “KPI”. Series: Radio engineering], vol. 68, pp. 48–53.

5. Zinchenko M. V., Wo Zui Fook and Zinkovsky Yu. F. (2017), “*Issledovanie spektralnykh harakteristik rasseivayuschih MOM-struktur v nelineynoy lo-*

---

*katsii*” [“Investigation of the spectral characteristics of scattering MOM structures in a nonlinear location”], bulletin *Vestnik NTUU “KPI”, Seriya: Radio-tehnika. Radioapparatostroenie* [Bulletin of NTUU “KPI”, Series: Radio engineering], vol. 70, pp. 11–16.

6. Vernigorov N. S. and Kuznetsov T. V. (2002), “*K voprosu o printsipe sravneniya v nelineynoy radiolokatsii*” [To the question of the principle of comparison in nonlinear radiolocation], journal *INFORMOST Radio Electronics and Telecommunications*, vol. 3 (21), pp. 8–14.

7. Belchikov A. V., Mishustin B. A., Dzisyak A. B. and Zaitsev V. K. (2011), “*Vzglyad razrabotchikov nelineynykh lokatorov serii “Lornet” na nekotorye aktualnyye voprosy nelineynoy lokatsii*” [“A look at the developers of nonlinear locators of the Lornet series on some relevant issues of nonlinear location”], journal *Tehnika. Arsenal. Spetsialnaya tehnika* [Technics. Arsenal. Special equipment], vol. 5, pp. 14–20.

8. Shcherbakov G. N. (2004), *Obnaruzhenie skrytykh ob’ektov dlya gumanitarnogo razminirovaniya, kriminalistiki, arheologii, stroitelstva i borby s terrorizmom* [Detection of hidden objects for humanitarian mine clearance, forensics, archeology, construction and the fight against terrorism], Press Arbat-Inform, Moscow, 144 p.

9. Tarasenko Yu. S. (2011), *Fizychni osnovy radiolokatsii* [The physical foundations of the radiolocation], Press *Porohy*, Dnipro, 487 p.

10. L’vova L. A. (2003), *Radiolokatsionnaya zametnost’ letatel’nykh apparatov* [Radar visibility of aircraft], Press RFYATS-VNIITF, Snezhinsk, 232 p.

11. Vernigorov N. S. (1997), “*Protsess nelineynogo preobrazovaniya i rasseyaniya elektromagnitnogo polya elektricheskimi nelineynymi*” [“The process of nonlinear conversion and scattering of an electromagnetic field is electrically nonlinear objects”], Collection of scientific works Institute of Radio-engineering and Electronics of RAS, vol. 42, pp. 11–13.

12. Shifrin Ya. S. (1997), “*Nelineynyye efekty v antennah*” [“Nonlinear effects of antennas”], journal *Zarubezhnaya radioelektronika. Uspehi sovremennoy radioelektroniki* [Foreign electronics. Successes of modern radio electronics], vol. 4, pp. 33–44.

**Ю. С. Тарасенко**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів  
**В. В. Смірнов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів  
**Б. Б. Стелюк**, кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів  
**Д. І. Прокопович-Ткаченко**, кандидат технічних наук, виконувач обов'язків завідувача кафедри кібербезпеки Університету митної справи та фінансів

### РЕЖИМ БЕЗЕХОВОСТІ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ МИТНОГО КОНТРОЛЮ

*Проаналізовано можливість застосування у практиці митного контролю режиму безеховості, створюваного за допомогою нестандартизованих засобів вимірювання у вигляді безехової камери (БЕК). З позицій принципу достовірності підтвердження відповідності, проведено калібрування руспорподібної БЕК як основи додаткового інструментарію в інформаційній системі митного контролю (ІСМК). Поставлено завдання створення банку даних (БД) образів типових об'єктів для впровадження у митну практику методів і засобів радіолокаційного виявлення і розпізнавання. Наведено функціональну схему лабораторної установки з БЕК та подано результати експериментальних досліджень. Запропоновано, використовуючи результати контрольних вимірювань ефективної площі розсіювання каліброваних об'єктів, забезпечувати контроль рівня достовірності вимірювань через апостеріорне їх підтвердження або опротестування.*

Ключові слова: банк даних; образи об'єктів; митний контроль; безехова камера.

© Ю. С. Тарасенко, В. В. Смірнов, Б. Б. Стелюк, Д. І. Прокопович-Ткаченко, 2019

---

*Проанализирована возможность применения в практике таможенного контроля режима безэховости, создаваемого посредством нестандартизованных средств измерения в виде безэховой камеры. С позиций принципа достоверности подтверждения соответствия проведена калибровка рупорообразной безэховой камеры как основы дополнительного инструментария в информационной системе таможенного контроля. Поставлена задача создания банка данных образов типовых объектов для внедрения в таможенную практику методов и средств радиолокационного обнаружения и распознавания. Представлена функциональная схема лабораторной установки с безэховой камерой, а также результаты экспериментальных исследований. Используя результаты контрольных измерений эффективной площади рассеяния калиброванных объектов, предложено обеспечивать контроль уровня достоверности измерений через апостериорное их подтверждение или опротестование.*

*Ключевые слова: банк данных; образы объектов; таможенный контроль; безэховая камера.*

*The problem of revealing hidden objects (HO) in the implementation of methods and means of radar detection and recognition in the practice of customs control poses the task of creating a database of images of typical HO artificial origin.*

*In order to ensure the reliability of the information expert base of the Customs Information and Measurement System (CIMS), it is advisable to use the anechoic regime created by special methods and methods of its implementation. At the same time, the establishment of the potential level of risk of HO omission (in terms of the concept of acceptable risk in the conditions of uncertainty, given by the corresponding probabilities of false alarm and omission of the object) is a necessary condition for the successful solution of the problem of a priori assessment of the reliability and reliability of detection of HO using CIMS. The fulfillment of the requirement of sufficient information can be confirmed only by experimental methods implemented in conditions that allow to select active and passive interferences in the process of detection of HO customs control.*

*The theoretical description of the principle of operation is given, the functional scheme is described and the laboratory installation of anechoic chamber (AEC) is experimentally investigated to provide the process of creating a database of images of typical HO models and to evaluate the criterion of reliability of potential tactical and technical characteristics of control and measuring equipment (KME). The graph of the radiation power and the electromagnetic field intensity on the axis in the AEC is shown.*

---

*In the process of measuring the effective surface of the sample scattering of the models of calibrated HO, the experimental setup showed its efficiency and it was experimentally proved the basic possibility and efficiency of the use of BEC, which with a high level of screening, are able to provide the mode of attestation of KME not only from the point of view of information security of pairs through detection of electromagnetic radiation and interference, but also by positive control measurements of calibrated volume of HO models in the form of a sphere, as well as to confirm or refute the accuracy of the KME measurements used in customs control.*

*Key words: data bank; images of hidden objects; customs control; anechoic chamber.*

**Постановка проблеми.** Виявлення прихованих об'єктів для впровадження методів і засобів радіолокаційного виявлення і розпізнавання в практику митного контролю ставить завдання створення банку даних (далі – БД) відповідності зображень (ВЗ) типових об'єктів штучного походження. У цьому і полягає проблема дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для забезпечення достовірності інформаційної експертної бази як підсистеми інформаційної системи митного контролю (далі – ІСМК) доцільно задіяти режим безеховості, створений спеціальними методами і способами його реалізації [1–5]. При цьому встановлення потенційного рівня ризику пропуску прихованих об'єктів (з погляду концепції прийнятного ризику в умовах невизначеності, що задається відповідними можливостями помилкової тривоги  $P_{л.т.}$  і пропуску об'єкта  $P_{np}$ ) – необхідна умова успішного виконання завдання апріорної оцінки достовірності й надійності виявлення прихованих об'єктів за допомогою ІСМК.

Виконання вимоги достатності інформації може бути підтверджено тільки експериментальними методами, реалізованими за умов, що дозволяють селектувати активні й пасивні перешкоди у процесі виявлення прихованих об'єктів митного контролю [1].

Проблема забезпечення достовірності з погляду підтвердження відповідності ІСМК заданим вимогам під час прийняття рішень щодо розпізнавання образів (ідентифікації) та ступеня безпеки прихованих об'єктів досить актуальна і фактично зводиться до оцінки значень критерію достовірності контрольно-виміральної апаратури (далі – КВА) (насамперед це стосується радіоапаратури) з урахуванням методології менеджменту ризику [6].

Остаточний вибір рішення щодо використання КВА може бути оцінений тільки після її експериментальної апробації. В оцінці надійності та достовірності роботи КВА доцільно використовувати режим безеховості. Отже,

---

лише у випадках позитивної реалізації цих двох умов (умов необхідності й достатності) можна стверджувати (за апіорі обумовлених значеннях  $P_{л.т.}$  і  $P_{пр}$ ) про відповідність достовірності й правомірності КВА, використовуваної під час митного контролю.

**Мета статті** – розвиток і застосування принципу достовірності за умови підтвердження відповідності потенційних тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) КВА, призначеної для отримання інформації безпосередньо як від ІСМК, так і від лоційованих об'єктів шляхом вимірювання та контролю вторинного випромінювання (перевипромінювання) від різних каліброваних об'єктів з метою подальшого створення банку образів прихованих об'єктів штучного походження.

**Виклад основного матеріалу.** Принцип вірогідності щодо КВА завжди супроводжує невизначеність, рівень якої окреслює апіорну наявність ризиків неточного вимірювання або невиявлення, наприклад, прихованих об'єктів.

В основі оцінки прийнятності ризику, за аналогією з радіолокаційними методами отримання інформації у вигляді виявлення, вимірювання, дозволу і розпізнавання цих об'єктів спостереження, можуть бути використані відповідні значення  $P_{л.т.}$  і  $P_{пр}$ , доповнені можливостями правильного і неправильного виявлення за критеріями Неймана–Пірсона або ідеального спостерігача [7]. З огляду на це можна трактувати достовірність як ступінь довіри на тлі допустимих ризиків до рівня працездатності КВА.

Очевидний взаємовплив КВА і прихованих об'єктів штучного походження дає змогу конкретизувати перелік можливих факторів, що впливають на достовірність отриманої інформації.

Так, з боку прихованих об'єктів штучного походження можуть виявлятися і суттєво впливати такі фактори:

- протяжність і рельєфність прихованих об'єктів, що призводять до появи цілого ансамблю блискучих точок;

- неоднорідність як самої поверхні відображення прихованих об'єктів, так і наявності декількох (дозволених або які не задовольняють цей критерій) інших об'єктів, що призводять, зі свого боку, до прояву особливостей групового перевипромінювання;

- умови зберігання або маскуванню прихованих об'єктів та ін.

З боку КВА, залежно від особливостей прихованих об'єктів і конкретного виду вимірювань (оптичний, радіохвильовий, рентгенівський, радіаційний тощо), можуть виявлятися фактори, перелік яких різноманітний. Зокрема, це:

- різні методики вимірювань, багатьом із яких також властива невизначеність (наприклад, співзвучні принципам невизначеності у квантовій механіці та радіолокації);

---

– технологічний розкид параметрів і характеристик КВА, що з’являється в процесі тривалої експлуатації і потребує періодичної метрологічної атестації;

– інші не менш значущі чинники, що впливають на достовірність вимірювань за допомогою КВА.

Отже, виходячи з ТТХ КВА і не маючи апіорної інформації про приховані об’єкти штучного походження, доцільність створення банку відповідності прихованих об’єктів з урахуванням їх взаємовпливу в процесі виявлення, вимірювання і розпізнавання останніх, є очевидною. При цьому для чистоти експерименту під час підготовки каталогу образів прихованих об’єктів штучного походження (до таких насамперед належать контрафактні товари народного споживання) рекомендується використовувати режим безеховості, створюваний спеціальними методами і способами, які їх реалізують, наприклад за допомогою безехових камер (далі – БЕК) [1–5].

В основі створення режиму безеховості лежить принцип поглинання відбитого сигналу від будь-якої перешкоди на шляху поширення акустичної або електромагнітної хвилі. Під перешкодою прийнято розуміти будь-яку неоднорідність параметрів середовища, в якому поширюється хвиля. Для електромагнітних хвиль – це будь-яка зміна діелектричної і/або магнітної комплексних проникнень у середовище, що оцінюється як неоднорідність.

Основними факторами, що визначають якість БЕК, є їхні розміри й конфігурації, а також якість застосованого радіопоглинального матеріалу (далі – РПМ).

Головним параметром, що визначає якість БЕК, є коефіцієнт безеховості (далі – КБЕ)  $K_B$ . Чим менше значення паразитних розсіяних полів, тим менший КБЕ і краща якість БЕК.

Робочий обсяг БЕК – це область простору БЕК з апіорі заданим КБЕ, який прийнято також називати безеховою зоною.

Як правило, габаритні розміри безехової зони БЕК визначають експериментально, порівнюючи КБЕ у кожній точці передбачуваної зони вимірювань (досліджень) з апіорі заданим значенням. Для цього використовують співвідношення такого вигляду:

$$K_B = 20 \lg \frac{\sum E_{від.}(x, y, z)}{E_{спад.}}, \quad (1)$$

де  $x, y, z$  – координати знаходження приймальної антени (зонда);

$E_{від.}$  – відбиті напруженості електричного поля;

$E_{спад.}$  – напруженість електричного поля спадної хвилі.

Очевидно, що за будь-якої конфігурації БЕК усякій спадній (первинній) хвилі з напруженістю електричного поля  $\vec{E}_0$  відповідатимуть відбиті від стінок камери вторинні хвилі з відповідними напругами електричних полів у вигляді сукупності  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, E_n$ .

При цьому в будь-якій точці гіпотетичної зони безеховості БЕК значення співвідношення  $\left| \sum_{i=1}^k \vec{E}_i / \vec{E}_0 \right|$  завжди повинно бути меншим, ніж апорі заданий  $K_B$ . Отже, для випадку, коли приймальна антена (зонд) має ізотропну діаграму спрямованості, величину КБЕ (у децибелах) можна безпосередньо оцінити за допомогою співвідношення:

$$K_B = 20 \lg \frac{E_n(x_m, y_k, z_j)}{E_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{пр}} = |\vec{E}_0|$  – напруженість спадного поля (прямого променя) передавальної антени в точці спостереження;

$E_n(x_m, y_k, z_j)$  – сума напруженості відбитих хвиль від усіх стінок камери в приймальній точці;

$x_m, y_k, z_j$  – координати розміщення приймальної антени (зонда), де

$$x_m = m\Delta x; y_k = k\Delta y; z_j = j\Delta z.$$

Співвідношення (2) вказують на можливість покрокового переміщення зонда за ортогональними декартовими координатами.

Таким чином, у точці приймання результуючу напруженість електричного поля, зображену у вигляді суперпозиції відбиття від усіх стінок прямокутної камери (а їх 6), можна записати у вигляді:

$$E_z(x_m, y_k, z_j) = \frac{R_n}{F_r(\theta'_n)} \sum_{i=1}^4 F_r(\theta_{ni}) V_r(\varphi_{ni}) \frac{e^{-\sqrt{1-k}(R_{ni}-R_n)}}{R_{ni}} + \frac{R_n}{F_b(\theta'_n)} \sum_{i=5}^6 F_b(\theta_{ni}) V_b(\varphi_{ni}) \cos(\theta'_{ni}) \frac{e^{-\sqrt{1-k}(R_{ni}-R_n)}}{R_{ni}}, \quad (3)$$

де  $n_i$  – сукупність трьох індексів  $m, k, j$ ;

$i$  – номер відбивної стінки (наприклад, у прямокутній камері  $i=1, 2, \dots, 6$ );

$V_{r,b}(\varphi_{ni})$  – френелевські коефіцієнти відбиття від стін БЕК за горизонтальної (індекс “r”) і вертикальної (індекс “b”) поляризацій.



У формулі (3) параметр  $R_{m,k,j}$  – це відстань між передавальною точкою, точкою на  $i$ -й перевипромінювальній стінці та точкою спостереження, обумовленою зі співвідношенням:

$$R_n = \sqrt{(x_0 - x_{ni})^2 + (y_0 - y_{ni})^2 + (z_0 - z_{ni})^2}. \quad (4)$$

Параметр  $R_{ni}$  у формулі (3) – це відстань між приймальною антеною, точкою відбиття на  $i$ -й стінці й точкою спостереження, що задано співвідношенням вигляду:

$$R_{ni} = \sqrt{(x - x_{ni})^2 + (y - y_{ni})^2 + (z - z_{ni})^2} + \sqrt{(x_0 - x_{ni})^2 + (y_0 - y_{ni})^2 + (z_0 - z_{ni})^2}. \quad (5)$$

У поданих формулах (4) і (5) через  $(x_0, y_0, z_0)$  відображено місце розташування передавальної (опроміненої БЕК) антени; а через  $(x_m, y_k, z_j)$  – координату приймального зонда, який можна переміщувати покроково в БЕК, змінюючи координати відповідно до виразів  $x_m = m\Delta x$ ;  $y_k = k\Delta y$ ;  $z_j = j\Delta z$ ; а  $(x_{mi}, y_{ki}, z_{ji})$  – координати точки дзеркального відбиття на  $i$ -й стінці камери.

У формулі (3) через  $F_{г,в}(\theta_{ni})$  уведено діаграми спрямованості передавальної антени для випадків горизонтальної й вертикальної поляризації, де  $\theta_{ni}$  – кут між падаючим променем і віссю передавальної антени, а  $\theta'_{ni}$  – кут між прямим і відбитим променями. При цьому кут падіння променя на  $i$ -ту стіну відображений записом  $\Phi_{ni} = \frac{\pi}{2} - \theta_{ni}$ , а кут між прямим променем і віссю передавальної антени позначений у вигляді  $\theta''_{ni}$ ,

$$\text{де: } \theta''_{ni} = \arcsin(z_j - z_0)/R_n; \quad (6)$$

$$\theta_{ni} = \arctg z_0/(x_{ni} - x_0).$$

Отже, співвідношення (3), яке складається із двох сум, відображає повне перевідбите поле, з яких перша складова ставиться до тих стінок ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), щодо яких поляризація спадних хвиль горизонтальна, а друга – до тих стінок ( $i = 5, 6$ ), щодо яких вона вертикальна.

У точці, де вимірюється поле, доцільно використовувати зонд із ізотропною діаграмою спрямованості. Тоді, пересуваючи покроково цей зонд по осях  $(x, y, z)$  камери, можна виміряти повний сигнал у різних точках камери.

Очевидно, що похибка проведених випробувань у БЕК залежатиме від діаграми спрямованості конкретної випромінюваної антени й запропонованої методики оцінки якості БЕК та її робочої зони. При цьому будь-яка методика

експериментального визначення якості БЕК може претендувати лише як на її алгоритм (метрологічною мовою це означає “програма”) оцінки якості, а не на атестацію. У протилежному випадку необхідно задовольнити основні положення метрологічного забезпечення розробки, виготовлення й експлуатації нестандартизованих засобів вимірювань, до яких слід зарахувати БЕК.

Відповідно до програми атестації необхідно визначити діапазон робочих частот БЕК, її КБЕ, “уявну” ефективну площу розсіювання (ЕПР або ЕВП – ефективна відбивна поверхня) БЕК, розміри безехової зони й ефективність екранування, застосовуючи, наприклад, методи визначення рівня відбитих сигналів у БЕК у процесі випробування конкретної спрямованої антени, а саме [1; 7]:

- метод порівняння діаграм;
- метод визначення коефіцієнта стоячої хвилі у вільному просторі;
- метод когерентної Фур’є-оптики або
- радіоголографічний метод.

Для процесу створення банку ВЗ відповідних типових моделей прихованих об’єктів і достовірності ТТК КВА запропоновано лабораторну установку з БЕК, функціональну схему якої зображено на рис. 1.

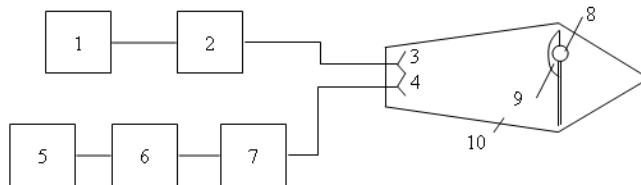


Рис. 1. Функціональна схема лабораторної установки з БЕК

Ураховуючи, що задня стінка БЕК є основним джерелом паразитних відбиттів, то у нашому випадку вона виготовлена у вигляді рупора, покритого РППМ типу В2-Ф3 із коефіцієнтом відбиття за потужністю  $K_M = 0,05$  (– 13 дБ).

Розміри застосовуваної БЕК обиралися за умови, що вимірювання (мм) моделей прихованих об’єктів повинні проводитися на відстані від приймально-передавальних антен порядку  $R = 60\text{--}70$  см. Така відстань задовольняє критерій дальньої зони для застосовуваних антен рупорного типу з розкритом  $8 \times 8$  см<sup>2</sup> або  $15 \times 16$  см<sup>2</sup> і з робочим обсягом близько 4100 см<sup>3</sup> за середньої довжини хвилі 4 см.

Згідно з цими умовами, БЕК у вигляді зрізаної чотирикутної піраміди мала такі розміри: висота камери – 220 см, нижній перетин камери  $40 \times 40$  см<sup>2</sup>, висота рупора задньої стінки БЕК –  $h = 30$  см.

Для кріплення й переміщення моделей радіолокаційних цілей було змонтовано спеціально розроблений координатник. Для заміни моделей пе-

редбачено відкидну стінку. На задній стінці БЕК безпосередньо кріпилися хвилеводні елементи приймально-передавального тракту установки.

За  $\lambda=4,3$  см КБЕ камери становив  $-47$  дБ, а за  $\lambda = 3$  см відповідно  $-50$  дБ. В інших точках робочого діапазону КБЕ був не гірший ( $-35$  дБ). Відбитий сигнал від вимірюваних моделей перевершував фоновий сигнал, до складу якого входив і сигнал, відбитий від опори кріплення моделі, на  $50$  дБ. При цьому емпірично обмірювана розв'язка між приймальною (4) й передавальною (5) антенами, відстань між крайками апертур яких  $-0,5$  см, становила відповідно  $-6$  дБ і  $-48$  дБ на довжинах хвиль  $4,3$  см і  $3$  см (рис. 2).

Робота експериментальної установки здійснювалася в такий спосіб.

Надвисокочастотна енергія від генератора 1 через феритовий вентиль 2 потрапляє на передавальну антену 3, умонтовану всередині БЕК, і, випромінюючись, падає на модель радіолокаційної цілі, закріпленої на опорі. Далі відбитий сигнал від моделі надходить на приймальну антену 4, а потім через узгоджувальний трансформатор 7 – на детекторну секцію 6. Продетектований сигнал підсилюється підсилювачем 5 і фіксується або стрілочним приладом підсилювача, або самописним потенціометром і осцилографічним індикатором. З переходом від одного частотного діапазону вимірювань до іншого проводилась відповідна зміна рупорних антен.

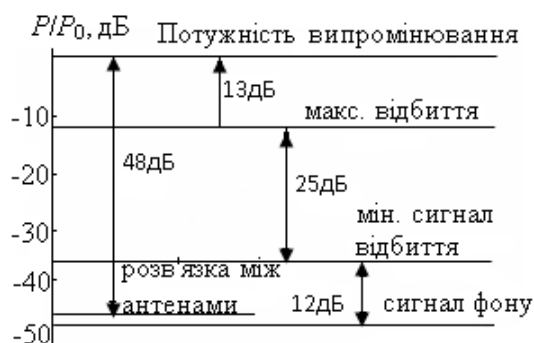


Рис. 2. Графік потужності випромінювання

Метод вимірювання ефективної поверхні зразкового розсіювання (далі – ЕПЗР) моделей на даній установці базується на вимірюванні потужностей у дальній зоні відповідно до рівняння радіолокації, записаного у вигляді, що задовольняє критерій дальньої зони, тобто:

$$R \geq pA^2 / \lambda, \quad (7)$$

де  $p > 1$ ;

$A$  – довжина найбільшої сторони апертури випромінювальної антени;

$\lambda$  – довжина хвилі.

---

Зокрема, у випадку вимірювання ЕПЗР опуклих тіл дана відстань може бути значно меншою, ніж та, яка визначається за формулою (7) [1; 7]. Це обумовлено тим, що поле трансформується до плоского фронту хвилі в міру його локалізації до осі симетрії антени. Крім того, для визначення ЕПЗР реальних об'єктів на надвисоких частотах (далі – НВЧ) в лабораторних умовах доцільно використовувати моделювання. У цьому випадку мають виконуватися так звані умови електродинамічного моделювання [1; 7], які можуть бути записані у вигляді таких співвідношень:

$$\varepsilon = \varepsilon_M; \quad \mu = \mu_M; \quad f / f_M = \lambda / \lambda_M = \ell / \ell_M = M; \quad S = S_M M^2, \quad (8)$$

де  $\varepsilon$  і  $\mu$  – відповідно діелектрична й магнітна проникності об'єкта дослідження;

$\varepsilon_M$  і  $\mu_M$  – відповідно діелектрична й магнітна проникності моделі тіла;

$f$  і  $\lambda$  – відповідно частота й довжина хвилі радіолокаційної станції;

$f_M$  і  $\lambda_M$  – відповідно частота й довжина хвилі моделі РЛС;

$\ell$  і  $\ell_M$  – відповідно розміри тіла і його моделі;

$M$  – масштаб моделі;

$S$  і  $S_M$  – відповідно ЕПЗР досліджуваного об'єкта і його моделі.

Очевидно, що, обираючи схему лабораторних установок у процесі вимірювання ЕПЗР моделей цілей, необхідно забезпечувати належну розв'язку між НВЧ-генератором і приймачем установки. Причому схема приймально-передавального тракту з однією антеною дозволяє лише з прийнятною точністю робити вимірювання щодо більших значень ЕПЗР.

У разі вимірювання малих значень ЕПЗР навіть у вузькому діапазоні частот супутні похибки найчастіше виходять за рамки прийнятних, оскільки сучасне розв'язувальне обладнання (спрямовані відгалужувачі, подвійні трійникові мости, циркулятори) не забезпечує належного розв'язання між передавальними й приймальними трактами. З огляду на це всі наведені нижче результати експериментального дослідження ЕПЗР об'єктів/цілей були одержані на лабораторній установці з двома антенами: передавальною і приймальною, розташованими поруч, що автоматично забезпечувало розв'язку між відповідними каналами не менше 30 дБ.

При цьому, зважаючи на квадратичність вольтамперної характеристики детектора, фіксувалися величини, безпосередньо пропорційні відбитим потужностям. Як оцінки експериментальної установки були проведені вимірювання напруженості електромагнітного поля на осі БЕК, відбитого від пасивного відбивача у вигляді металевого диска радіусом  $R_l = 3,3$  см, який переміщувався по осі БЕК.

Залежність потужності відбитого сигналу  $P^{(-)}$ , нормованої до потужності випромінюваного сигналу  $P^{(+)}$ , від відстані  $R$  зображена на рис. 3, де крива 1 відповідає експериментальним вимірюванням у БЕК; крива 2 розрахована за формулою, записаною у вигляді рівняння радіолокації [1; 7]:

$$P^{(-)} / P^{(+)} = \frac{G^2 \lambda^2 S}{(4\pi)^2 R^4}, \quad (9)$$

де  $P^{(+)}$  – випромінювана потужність;  
 $P^{(-)}$  – прийнята (відбита) потужність;  
 $G$  – коефіцієнт підсилення антени;  
 $S$  – величина ЕПЗР об'єкта дифракції;  
 $R$  – відстань від об'єкта до апертури приймальної антени.

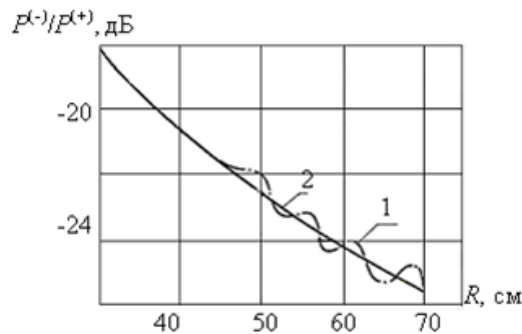


Рис. 3. Напруженості електромагнітного поля на осі БЕК

Порівняння кривих показує, що відхилення експериментальної кривої 1 від кривої 2 не перевищує 2 дБ. При цьому до основних похибок у вимірюваннях діаграм зразкового розсіювання (далі – ДЗР) моделей на даній експериментальній установці слід зарахувати такі:

- похибка, спричинена наявністю фону від стінок БЕК, яка не перевищувала 2,5 дБ;
- похибка, пов'язана з просочуванням паразитного сигналу НВЧ потужності з передавальної антени в приймальну;
- похибка, обумовлена варіацією фази від осі випромінювання до периферії, що не перевищувала  $\pi/4$ , а також зміною амплітуди на периферії розсіювача, що не перевищувала 2 дБ.

Інтегральну оцінку похибки експериментальної установки нескладно здійснити, порівнюючи розрахункові значення ЕПР моделей конкретного виду об'єктів з експериментально одержаними об'єктами. У нашому випадку таку оцінку було здійснено для моделей, що являють собою металевий циліндр радіусом  $R_1 = 1,5$  см і довжиною  $L = 5$  см, металеву сферу радіуса 3 см, а також металевий диск радіусом 3,3 см на частоті 10 ГГц.

---

Так, розрахункове значення ЕПЗР металевого диска радіусом 3,3 см за нормального падіння на нього електромагнітної хвилі становить  $1630 \text{ см}^2$ . Водночас для цього ж диска, розташованого на відстані  $R = 70 \text{ см}$  від апертури антен по осі випромінювання, вимірюване значення  $P^{(-)}/P^{(+)}$  було визначено у вигляді значення  $7 \cdot 10^{-4}$ . Звідси, використовуючи рівняння радіолокації у вигляді (9), одержимо емпіричну величину ЕПЗР металевого диска з радіусом 3,3 см за нормального падіння електромагнітної хвилі, що дорівнює  $1400 \text{ см}^2$ .

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Отже, зіставляючи значення диска, одержані розрахунковим і емпіричним шляхом, бачимо, що їхні значення різняться на 14 %. Крім того, використовуючи металевий диск як еталонний розсіювач, можна здійснювати оцінку поведінки ЕПЗР моделей складнішої геометрії. У цілому в подальшому процесі вимірювання ЕПЗР моделей каліброваних цілей (у вигляді сфери та циліндра) ця експериментальна установка, БЕК якої також має високий рівень екранування, показала якісні результати.

Так само можна провести більш суворий необхідний режим атестації задіяної КВА не тільки з погляду їх інформаційної захищеності через виявлення власних супутніх паразитних електромагнітних випромінювань і наведень, але й за контрольними вимірами ЕПЗР каліброваних об'єктів, забезпечити контроль рівня достовірності вимірювань за допомогою цієї КВА через апостеріорне їх підтвердження або спростування.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Тарасенко Ю. С.* Фізичні основи радіолокації. Дніпро: Пороги, 2011. 487 с.
2. *Маслов М. Ю., Самоков Л. М., Скачков Д. В.* Испытательная безэховая камера диапазона 30.1200 МГц // Технологии информационного общества: Спецвыпуск Т-Сотм, 2009, август. С. 123–128.
3. *Наконечный В. С., Присяжный А. Е., Побережный А. А.* Электродинамическое моделирование с использованием безэховых камер СВЧ. Методика оценки коэффициента безэховости // Системы обработки информации. 2005. Вып. 9 (49). С.116–123.
4. *Балабуха Н. П., Меньших Н. Л., Солосин В. С.* Электромагнитное моделирование низкочастотной рупорной безэховой камеры // Четырнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН при поддержке IEEE-APSL-LEOS-CHARTER: Сборник тезисов докладов. Москва: ИТПЭ РАН, 2014. С. 51–53.
5. *Никитенко А. В., Зубов А. С., Булычев Е. В.* Моделирование отражения электромагнитных волн от радиопоглощающего материала пирамидальной формы // Пятнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН

---

при поддержке IEEE-APS-LEOS-CHAPTER: сборник тезисов докладов. Москва: ИТПЭ РАН, 2014. С. 43.

6. Строганова Е. П. Развитие принципа достоверности подтверждения соответствия // Технологии информационного общества: спецвыпуск. Т-Comm, 2009, август. С. 138–140.

7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. Москва: Радиотехника, 2007. 512 с.

#### References:

1. Tarasenko Yu. S. (2011), *Fizychni osnovy radiolokatsiyi* [Physical basis of radar]. Dnipro: Thresholds. 487 p.

2. Maslov M. Yu., Samokov L. M. and Skachkov D. V. (2009), *Ispytatel'naya bezekhovaya kamera diapazona 30..1200 MGts* [Test anechoic chamber of the range 30-1200 MHz], *Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Spetsvyпуск T-Comm* [Information society technologies. Special Issue T-Comm], August, pp. 123–128.

3. Nakonechnyy V. S., Prisyazhnyy A. Ye. and Poberezhnyy A. A. (2005), “*Elektrodinamicheskoye modelirovaniye s ispol'zovaniyem bezekhovyykh kamer SVCH. Metodika otsenki koeffitsiyenta bezekhovosti*” [“Electrodynamic modeling using anechoic microwave cameras. Methodology for assessing the coefficient of anechoicity”], *Journal Sistemi obrobki informatsii* [Information Processing Systems], vol. 9 (49), pp. 116–123.

4. Balabukha N. P., Menshikh N. L. and Solosin V. S. (2014), “*Elektromagnitnoye modelirovaniye nizkochastotnoy rupornoй bezekhovoy kamery*” [“Electromagnetic modeling of a low-frequency hornless anechoic chamber”]. 14th Annual Scientific Conference of the ITPE RAS with the IEEE-APS-LEOS-CHAPTER support, Collection of Abstracts, Press ITPE RAS, Moscow, pp. 51–53.

5. Nikitenko A. V., Zubov A. S. and Bulychev E. V. (2014), “*Modelirovaniye otrazheniya elektromagnitnykh voln ot radiopoglashchayushchego materiala piramidal'noy formy*” [“Modeling of reflection of electromagnetic waves from radio absorbing material of pyramidal shape”], 15th Annual Scientific Conference of the ITPE RAS with the of IEEE-APS-LEOS-CHAPTER support, Collection of Abstracts, Press ITPE RAS, Moscow, p. 43

6. Stroganova Ye. P. (2009), “*Razvitiye printsipa dostovernosti podtverzhdeniya sootvetstviya*” [“Development of the reliability principle of confirmation of conformity”], *Journal Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: spetsvyпуск* [Technologies of the Information Society. Special Issue T-Comm], August, pp. 138–140.

7. Edited by Shirman Ya. D. (2007), *Radioelektronnyye sistemy: osnovy postroyeniya i teoriya* [Radio-electronic systems: the basics of construction and theory], Reference Book, Press Radiotekhnika, Moscow, 512 p.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-12>  
UDC 004.04:355.40

**A. S. Spitzer**, PhD, assistant, Assistant of Specialized Computer Systems Department, Lviv Polytechnic National University  
**A. V. Mashchak**, PhD, Senior Lecturer, Senior Lecturer of the Theoretical Radio Engineering and Radio Measuring Department, Lviv Polytechnic National University  
**T. I. Tkachuk**, PhD, assistant, Assistant of Specialized Computer Systems Department, Lviv Polytechnic National University  
**I. V. Kulyk**, PhD, Senior Lecturer, Lecturer of the Theoretical Radio Engineering and Radio Measuring Department, Lviv Polytechnic National University

#### **INCREASING EFFICIENCY OF INTERACTION BETWEEN THE OBJECT AND SURROUNDING TARGETS USING POSITIONING METHODOLOGY**

*In this article the idea of the theoretical model of the object (O) positioning in space is discussed. The space object positioning takes place on the basis of the enemy targets (ET) and friendly targets (FT) locations. The effective location criterion is determined – the maximum number of ET and the minimum number of ET which falls into the damage zone. Also, in the article the analysis of object own safety is carried out. Proposed model expands the criteria for assessing the characteristics of the object in relation to the environment in which the object is located.*

*Key words: positioning methodology; space object positioning; enemy targets locating; friendly targets locating.*

*У сучасних бойових діях технічні комп'ютеризовані системи виконують все більш важливу й критичну роль. Це передбачається необхідністю підвищення ефективності ведення війни – забезпечення максимальних ворожих втрат за мінімальних власних втрат. Засоби ведення бойових дій стають складнішими та досконалішими, це спричиняє підвищення їхньої економічної вартості та фізичної цінності. Проте порівняно з технічними засобами цінність життя і здоров'я військовослужбовців і цивільних осіб займає найважливіше місце. Наразі для розв'язання таких проблем використовуються*

© A. S. Spitzer, A. V. Mashchak, T. I. Tkachuk, I. V. Kulyk, 2019



---

моделі та підходи, які насамперед орієнтовані на характеристики та параметри об'єктів бойових дій. Фактори впливу навколишнього середовища або ігноруються (як малозначущі), або оцінюються людьми на основі їхнього досвіду (експертне оцінювання) та теоретичних знань без належного системного підходу.

Отже, у прийнятті тактичних рішень людський фактор став визначальним, що може призвести до помилкових незворотних рішень. В епоху цифрових технологій існує потреба в адекватності та ефективності математичних моделей, які могли б автоматизувати процеси тактичного планування в реальному часі. Такі моделі мають містити критичні вимоги до оцінювання середовища, в якому перебуває об'єкт. Тому необхідно розробити теоретичну й математичну модель (яку можна алгоритмізувати), це дасть змогу максимально знизити ризик для дружніх цілей та підвищити ефективність озброєння і боєдатність військовослужбовців.

Однією із найважливіших вимог до цієї моделі є автоматизація процесу тактичного планування й управління. Однак, незважаючи на військове спрямування цієї моделі, вона може бути успішно використана для іншої мети, наприклад для планування в економічній сфері. Адже ця модель може знаходити не тільки ворожі цілі чи дружні об'єкти, але й більш успішно планувати бізнес-стратегії та визначати конкурентів на ринку.

Результатом цієї статті є вербальний алгоритм і теоретична математична модель, яка потенційно може підвищити ефективність управління об'єктами (у військовій, економічній та інших сферах). Запропонована модель розширює критерії оцінювання характеристик об'єкта щодо середовища, в якому перебуває об'єкт.

Ключові слова: методологія позиціонування; розміщення космічних об'єктів; розміщення цілей противника; дружнє розміщення цілей.

В статтє обсуждается идея теоретической модели позиционирования объекта (O) в пространстве. Позиционирование космического объекта происходит на основе расположения вражеских целей (ET) и дружественных целей (FT). Определяется критерий эффективного местоположения – максимальное количество и минимальное количество ET, которое попадает в зону повреждения. Проведен анализ собственной безопасности объекта. Предлагаемая модель расширяет критерии оценки характеристик объекта по отношению к среде, в которой находится объект.

Ключевые слова: методика позиционирования; позиционирование космического объекта; определение местоположения вражеских целей; определение местоположения дружественных целей.

---

**Problem formulation.** In modern wars, technical computerized, often self-assembled systems become more and more important and critical. It also provides the need to increase the effectiveness of warfare – maximum hostile loss at minimum own losses. The means of warfare become more complex and more advanced therefore more expensive and more valuable. Equally, the value of human resources and lives of civilians takes the first place. At the moment, to solve such problems, models and approaches are used and primarily focused on the characteristics and parameters of the object. Environmental factors are mostly ignored or evaluated by people based on their experience (expert assessment) and theoretical knowledge, without proper systematicity approach.

Thus, when making tactical decisions, a human factor takes place as significant part that can lead to false/incorrect decisions. In the era of digital technology, there is a need for the models that could automate the tactical planning processes, in a real time. Such models have to acquire the critical requirement to evaluate the environment in which the object is located. Therefore, it is necessary to develop a theoretical, mathematical model (which can be algorithmized), will maximize risk reduction; increase the effectiveness of weapons and the combat capability of soldiers. One of the most important requirements of this model is the automation of the tactical planning and management process.

However, despite of the military deviation of this model, it can be successfully used for other purposes, such as economic field. After all, this model allows more successfully plan the business strategies, to define competitors, as well as ET, as well as FT.

**Main material.** The main problem is to calculate the location of the object in the space and damage points, based on the target zone of the targets (fig. 1).

*Object* means a transport or other which initiate interaction with targets by a certain algorithm.

*Target* – transport or other, exposed to the object influence.

*Characteristics* – a set of the targets' and objects' parameters. The characteristics include size, position in space and time, manoeuvrability, interaction zone, type of interaction, aggressiveness, own safety.

*Types of interaction* – positive and negative – distinguish two types of interaction on target.

*Friendly target* – the target that positively interacts with the object (an aggressive object can interact negatively with such targets, neutral – neutrally, and not aggressive should interact only positively). For such targets, it is necessary to maximize the positive impact of the object and minimize the negative.

*Enemy target* – the target that negatively interacts with the object (an aggressive object should interact negatively with such targets, neutral and not aggressive – can interact neutrally). For such targets, it is necessary to minimize the positive effect of the object and maximize the negative.

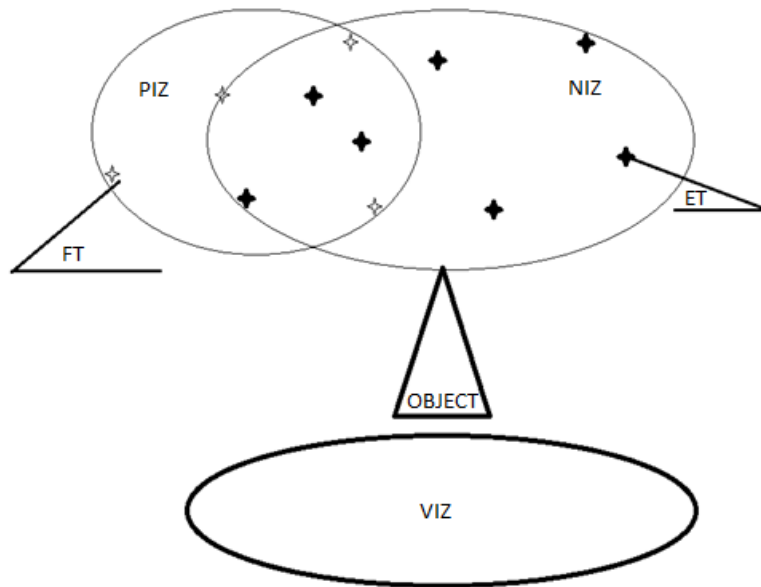


Fig. 1. Object targets and zones

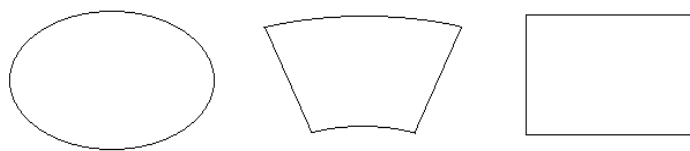


Fig. 2. Typical interaction zones

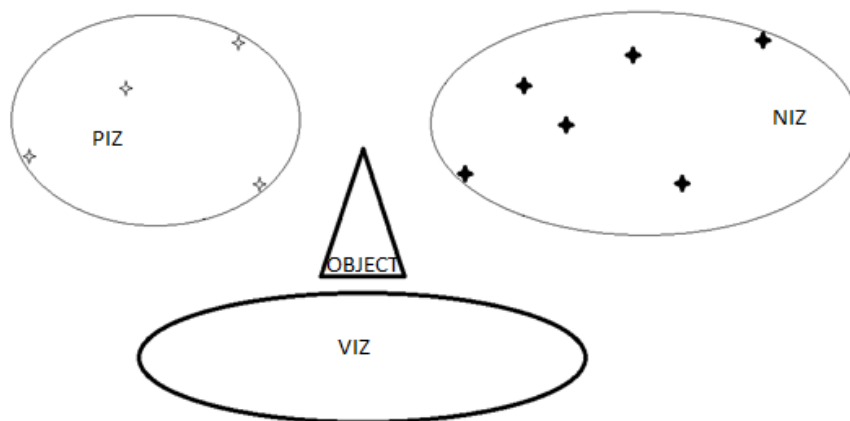


Fig. 3. Ideal case where all zones are clearly separated

---

*Interaction zone (IZ)* – zone, where object interacts with targets without changing their position and other characteristics (fig. 2). Distinguish positive zones (PIZ), negative interaction (NIZ) and zone of the object's vulnerability (VIZ). In most cases, the zones of positive and negative interaction completely coincide or one of them is absent.

The positioning of the object in its basis is based on the theory of games [1–6].

Ideally, when the zones of interaction with friendly and enemy objects are separated in space (fig. 3), the object is easily positioned by the following rules:

- The PIZ is located in the largest congestion of FT;
- NIZ is located in the largest concentration of ET;
- VIZ is located in the smallest accumulation of ET.

In case that it is impossible to reach the ideal state, or the zones coincide, the priority of the above rules is determined as follows:

- For an aggressive object, the definition of a NIZ is of a higher priority than the definition of the PIZ and vice versa;
- For a high-security entity, the definition of the VIZ has a higher priority than the definition of the PIZ or NIZ and vice versa.

In this paper, an algorithm for calculating zones is considered. However, the algorithm for positioning the object based on the calculated zones is not considered. The algorithms do not take into account the accuracy of the object interaction with the targets. This will be discussed in the further articles.

To determine the PIZ and NIZ the algorithm is applied the same only with inverse logic – FT changes the values from ET.

The same algorithm is used to determine the VIZ, but the FT objects are not taken into account.

Since the algorithm uses the same one only with inverse logic, there is a need to enter additional definitions.

#### Algorithm terms.

*The calculation zone (CZ)* is one of three zones for which the algorithm is used (given by the characteristics of the object) [7].

*Target objects (TO)* – objects that should be covered by the calculated zone as much as possible [8].

*Non-target objects (NO)* are objects that should not fall into the calculation zone, or their number should be minimized [9].

*The calculated zone of the target objects (CZT)* is the area equal to the CZ in terms of size and form, in which the largest number of TOs is accumulated [8–10].

*The calculated zone of non-target objects (CZN)* – a zone equal to CZ in size and form, in which the largest number of NO is accumulated.

*The calculated zone of minimum non-target objects (CZM)* is a zone equal to the CZ in size and form, in which the smallest number of NO is accumulated within the bounded area of target objects [11].

---

As a result, we obtain the following algorithm propositions:

- 1) calculate the location of the settlement zones by the TO and NO location;
- 2) calculate CZ, based on the condition that the CZ should coincide with the CZT, as much as possible but not include CZN;
- 3) repeat second point for all areas of the object;
- 4) establish the object for maximum coverage of the calculated zones.

This algorithm is valid both for stationary and for dynamic entities or objects. The only difference is that dynamic entities and computing objects must be real-time.

**Conclusions and further researches directions.** The result of this article is a verbal algorithm description of the theoretical model is shown. The mathematical model, which potentially can increase the object effectiveness (either military, economic and oth.). Proposed model expands the criteria for assessing the characteristics of the object in relation to the environment in which the object is located. Present paper show the main idea on positioning the object based on friendly/enemy targets.

#### **List of sources used:**

1. *Gintis H.* Game Theory Evolving: a Problem-centered Introduction to Modeling Strategic Behavior. Princeton University Press, 2000. 531 p.
2. *Miller J. D.* Game Theory at Work: How to Use Game Theory to Out-think and Outmaneuver Your Competition. McGraw-Hill Education, 2003. 228 p.
3. *Shoham Y.* Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press, 2008. 504 p.
4. *Leyton-Brown K.* Essentials of Game Theory: A Concise Multidisciplinary Introduction. Morgan & Claypool Publishers, 2008. 93 p.
5. *Cubitt R. and Sugden R.* Common Knowledge, Salience, and Convention: A Reconstruction of David Lewis's Game Theory // *Economics and Philosophy*. 2003. Vol. 19. P. 175–210.
6. *Meyer John-Jules and Wiebe van der Hoek.* Epistemic Logic for AI and Computer Science. New-York: Cambridge University Press, 2004.
7. *Vaittinen T., Karkkainen T., Olsson T.* A diary study on annotating locations with mixed reality information // Proceedings of the 9th international conference on mobile and ubiquitous multimedia. MUM '10. New-York, NY, USA: ACM; 2010. P. 21:1–21:10.
8. *Wither J., Coffin C., Ventura J., Hollerer T.* Fast annotation and modeling with a single-point laser range finder // 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality, 2008 (ISMAR 2008); 2008. P. 6–8.
9. *Castle R., Klein G., Murray D.* Video-rate localization in multiple maps for wearable augmented reality // 12th IEEE international symposium on wearable computers, 2008 (ISWC 2008); 2008. P. 15–22.

---

10. Wither J., Diverdi S., Hollerer T. Using aerial photographs for improved mobile ar annotation. In: Proceedings of the 5th IEEE and ACM international symposium on mixed and augmented reality. ISMAR '06. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society; 2006. P. 159–162.

11. Dave K., Dinesh K. CInDeR: Collision and Interference Detection in Real-time using graphics hardware // Proc. of Graphics Interface, May 2003, P. 73–80.

### References:

1. Gintis H. (2000), *Game Theory Evolving: a Problem-centered Introduction to Modeling Strategic Behavior*. Princeton University Press. 531 p.

2. Miller J. D. (2003), *Game Theory at Work: How to Use Game Theory to Outthink and Outmaneuver Your Competition*. McGraw-Hill Education. 228 p.

3. Shoham Y. (2003), *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press. 504 p.

4. Leyton-Brown K. (2008), *Essentials of Game Theory: a Concise Multi-disciplinary Introduction*. Morgan & Claypool Publishers. 93 p.

5. Cubitt R. and Sugden R. (2003), “Common Knowledge, Salience, and Convention: A Reconstruction of David Lewis’s Game Theory”. *Journal Economics and Philosophy*. Vol. 19. P. 175–210.

6. Meyer John-Jules and Wiebe van der Hoek (2004), *Epistemic Logic for AI and Computer Science*. New-York: Cambridge University Press.

7. Vaitinen T., Karkkainen T. and Olsson T. (2001). A diary study on annotating locations with mixed reality information // Proceedings of the 9th international conference on mobile and ubiquitous multimedia. MUM '10. New York, NY, USA: ACM; 2010. P. 21:1–21:10.

8. Wither J., Coffin C., Ventura J. and Hollerer T. (2008), Fast annotation and modeling with a single-point laser range finder, 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality, (ISMAR 2008). P. 6–8.

9. Castle R., Klein G and Murray D. (2008). Video-rate localization in multiple maps for wearable augmented reality // 12th IEEE international symposium on wearable computers, (ISWC 2008). P. 15–22.

10. Wither J., Diverdi S. and Hollerer T. (2006), Using aerial photographs for improved mobile ar annotation, Proceedings of the 5th IEEE and ACM international symposium on mixed and augmented reality. ISMAR '06. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. P. 159–162.

11. Dave K. and Dinesh K. (2003), CInDeR: Collision and Interference Detection in Real-time using graphics hardware, Proc. of Graphics Interface, May. P. 73–80.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-13>

УДК 621.025.4

**В. Я. Певнев**, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных систем, сетей и кибербезопасности Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”

**А. В. Таврин**, студент Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”

### СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ ИТАЛИИ И УКРАИНЫ

*Проведена сравнительная характеристика систем высшего образования Украины и Италии. Рассмотрены особенности построения учебного процесса в итальянских университетах на примере одной из дисциплин, которую преподают в университете Тренто. Отличительной чертой обучения является практическая направленность самостоятельной работы студентов, начиная с выбора темы и заканчивая практическим внедрением выполненной работы. Показана возможность внедрения представленного опыта в учебный процесс университетов Украины.*

Ключевые слова: *высшее образование; информационные технологии; университеты; Болонская система.*

*Проведено порівняльну характеристику систем вищої освіти України та Італії. Розглянуто особливості побудови навчального процесу в італійських університетах на прикладі однієї з дисциплін, яку викладають в університеті Тренто. Однією з відмінних рис навчання є практична спрямованість самостійної роботи студентів, починаючи з вибору теми і закінчуючи практичним упровадженням виконаної роботи. Показана можливість упровадження розглянутого досвіду в навчальний процес університетів України.*

Ключові слова: *вища освіта; інформаційні технології; університети; Болонська система.*

© В. Я. Певнев, А. В. Таврин, 2019

---

*The proposed paper provides a comparative description of higher education systems in Ukraine and Italy. The comparison was carried out on nine indicators that were taken from international publications and ratings of universities in the world. Some publications relate to Italian sources, and some to Ukrainian. The number of national universities in Italy and Ukraine that were included in the QS World University Rankings 2020 rating was considered. All these data are shown in the table. The organization of the educational process at universities in Italy is based on the great independence of students. Students, choosing a specialty, have a list of subjects for study, each of which has its own weight – credit. Among subjects, students independently choose the discipline to study, gaining the required number of credits. In Ukraine, the existing system assumes the existence of compulsory disciplines (75 %) and disciplines of students' choice (25 %). The features of the construction of the educational process in Italian universities are considered. The discipline "Project and Team Management Methodologies", taught at the University of Trento, was chosen as an example. One of the distinguishing features of training in this discipline is the practical orientation of students' independent work, starting with the choice of topic and ending with the practical implementation of the work done. When analyzing the use of information technologies in the educational process, it is shown that they are being used starting from the first step of a student in Italian universities. This is due to the very good organization of the educational process, the involvement of students in the preparation and conduct of classes, the organization of their independent work, approaches to teaching independent decision making and responsibility for their implementation. In this regard, requirements for lecturer are increasing. Video shooting of the lecture, which is conducted by students, requires more thorough preparation of the lecturer, in-depth knowledge of the material presented, the ability to keep all students under control and the ability to remain "in the frame". The possibility of introducing the presented experience into the educational process of Ukrainian universities is shown.*

*Key words: higher education; information technology; universities; Bologna system.*

**Постановка проблемы.** Бурное развитие информационных технологий в конце XX – начале XXI столетий резко изменило практически все сферы человеческой жизни. Появляются заводы, на которых работают десятки человек, выпускающие продукцию, сопоставимую с продукцией заводов-гигантов, на которых работали тысячи сотрудников; автомобили, в которых отсутствуют водители; беспилотные летательные аппараты, способные выполнять практически все задания по мониторингу за различными



---

объектами или территориями. Не обошлось и без внедрения современных технологий в образовательный процесс и в высшей школе. Если 35–40 лет назад высшим мерилем технических средств обучения были проекторы, которые показывали картинку, нарисованные на прозрачной основе, то теперь к услугам преподавателей интерактивные доски, цифровые проекторы, позволяющие отображать компьютерное изображение на экране, видеокамеры, позволяющие передавать информацию в режиме онлайн в сети Интернет. Все привыкли к возможностям всемирной паутины, в которой можно найти ответы практически на все вопросы, разнообразные обучающие программы по всем наукам и т. д.

**Целью статьи** является сравнительная характеристика современных информационных технологий, применяемых в высшей школе Италии и Украины, на примере Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “ХАИ” (НАУ “ХАИ”) (Украина) и университета Тренто (УТ) (Италия).

**Изложение основного материала.** *Система высшего образования в Италии и Украине.* Основой европейской системы образования следует считать “Болонскую декларацию”, которая была подписана 19 июня 1999 г. в г. Болонья (Италия) 29 министрами образования европейских стран от имени своих правительств [1]. В этой декларации министры брали на себя обязательства предпринять политические шаги для достижения ряда целей, важнейшими из которых являются:

- принятие системы академических степеней, легко читаемых и понимаемых;
- принятие системы, которая основывалась бы на учебных программах двух типов: программах высших профессиональных учебных заведений (ведущих к получению степени бакалавра) и программах вузов академического ранга (ведущих к получению степени магистра);
- содействие устранению препятствий для свободного передвижения студентов, преподавателей, а также исследователей и работников сферы высшего образования;
- формирование европейской системы обеспечения качества.

Итальянская система высшего образования основывается на принципах, изложенных в этом документе.

В Украине Болонский процесс был внедрен в 2005 г. На сегодняшний день уже заложены и работают основы Болонской системы [1]:

- введено независимое тестирование для школьников;
- упрощена система уровней выпускников;
- внедрена единая система оценивания;

– создана Национальная группа промоутеров, которая регулирует Болонский процесс в Украине.

Таким образом, в Украине к 2019 г. созданы и заложены условия для интеграции и мобильности студентов в европейское образовательное и научное пространство. Сравнительная характеристика основных свойств высшего образования в рассматриваемых странах и рейтингов вузов дана в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнение основных характеристик высшего образования  
Украины и Италии**

<b>Признак сравнения</b>	<b>Украина</b>	<b>Италия</b>
Основная академическая единица	Экзамен, зачет	Зачет
Возраст большинства студентов первого курса	17–18	19–25
Общая численность вузов (III–IV уровня)	652 (282)	94
Рейтинг вузов в мире (количество среди 1000 лучших) [2]	5	26
Лучший вуз страны (место в мировом рейтинге) [2]	Харьковский национальный университет им. Каразина (491)	Миланский политехнический университет (149)
Национальный рейтинг (место в мировом рейтинге)	НАУ “ХАИ” – 10 [3] (3195) [4]	УТ – 14 [4] (389) [2]
Общая численность студентов (млн человек)	1,5	1,8
Численность иностранных студентов	64 тыс.	52 тыс.
Срок обучения студентов	Бакалавр – 4 г. Магистр – 1 г. 4 (9) м.	Бакалавр – 3 + 1 г. Магистр – 2 + 1 г.
Плата за обучение (для Украины – контрактная) за учебный год [5; 6]:	Государственные вузы: 5100–43 200 грн Частные вузы: 4920–55 000 грн	Государственные вузы: 600–3000 евро. Частные вузы: до 15 000 евро

На взгляд авторов статьи, в представленной таблице следует обратить внимание на возраст абитуриентов. Молодой человек в возрасте 25 лет осо-

---

знано идет в тот или иной вуз. Этому способствует организация школьного обучения, где много внимания уделяется профессиональной подготовке. Высшее образование не является самоцелью, а является инструментарием получения более престижной работы, заработной платы, положения в обществе.

Следует обратить внимание и на численность вузов. Если население Италии составляет порядка 60 млн человек, население Украины по различным источникам – от 39 до 42 млн, то количество вузов явно не соответствует численности населения.

Несмотря на то, что в последние годы снижается количество абитуриентов в Украине, наша страна устойчиво занимает место в первой десятке стран мира по количеству студентов на 1000 жителей. Однако представленные рейтинги показывают то, что спрос на выпускников наших вузов желает быть большим. Главная привлекательность наших университетов – это хорошее соотношение цена/качество по сравнению с большинством стран в мире.

По приведенным данным пяти наиболее популярных рейтингов в мире университеты Италии занимают 23-е место в мире и 12-е в Европе [7]. К сожалению, украинские университеты в число 56 лучших не попали.

**Поступление в вуз.** В отличие от Украины итальянские вузы обладают высокой степенью автономности. Это касается организации как приемной компании, так и учебного процесса. Отличительными особенностями итальянских университетов являются [8]:

- отсутствие вступительных экзаменов;
- двенадцатилетнее школьное образование;
- диплом европейского образца;
- конвертация разрешения на обучение в статус поиска работы с последующей возможностью подачи на получение гражданства страны;
- доступное трудоустройство в Италии и странах ЕС.

В большинстве вузов количество мест не ограничено. Для получения грантов на обучение или освобождения от уплаты за учебу необходимо показать высокие академические результаты. Высокие академические результаты варьируются в зависимости от вуза, но в среднем это выше 89 баллов из 100 возможных. Также в среднем существует 10 бесплатных мест для иностранных студентов на одну специальность.

Частные университеты в Италии еще более свободны в своих действиях и предпочитают принимать всех желающих. Для украинцев, как и других иностранцев, при обучении на английском языке знание итальянского не считается обязательным, поэтому вступительные тесты сводятся к определению уровня владения английским – IELTS или TOEFL. Эти экзамены можно сдать в лингвистических центрах почти любой страны.

---

Самые популярные направления обучения в Италии [8]:

- архитектура;
- строительство;
- искусство и дизайн.

Самые популярные направления обучения в Украине [9]:

- право;
- филология;
- менеджмент;
- компьютерные науки.

**Организация учебного процесса.** Система обучения в вузах Италии подразумевает самостоятельность студентов. Студенты, выбирая специальность, получают список из предметов для изучения, каждый из которых имеет свой вес – кредит. Среди предметов студенты самостоятельно выбирают дисциплины для изучения, набирая необходимое количество кредитов. В Украине существующая система предполагает наличие обязательных дисциплин (75 %) и дисциплин по выбору студентов (25 %).

Итальянские студенты имеют доступ ко всем курсам в онлайн-системе, где, кроме учебно-методического материала, находится дневник оценок и посещаемости. Через систему происходит мониторинг расписания занятий, экзаменов, регистрация на курсы и экзамены. В НАУ “ХАИ” в настоящее время вводится аналогичная система электронного документооборота, которая содержит учебно-методический материал и позволит в режиме реального времени следить за успеваемостью студентов.

В начале семестра и новой дисциплины преподаватель выбирает студентов, которые желают за дополнительные баллы ассистировать преподавателю во время пар. В обязанности таких студентов может входить:

- создание сайта дисциплины;
- фото- и видеосъемка лекций;
- конспектирование и публикация материалов лекций;
- подготовка презентаций, прочего материала для лекций и лабораторных работ.

Такой подход к обучению в УТ позволяет дисциплинировать студентов, воспитывает большую ответственность за результаты обучения. В украинских вузах такого участия студентов в подготовке и проведению занятий не наблюдается.

Учебный процесс построен для студентов двух типов: посещающих и не посещающих занятия. Для посещающих занятия итоговая оценка за предмет выставляется по накопительной системе, по заранее оговоренным баллам за каждое задание. В зависимости от дисциплины предусмотрен письменный или устный экзамен, если студента не устроит накопленный за

---

семестр балл. Для не посещающих занятия студентов предусмотрены набор литературы для самостоятельного изучения, количество работ, которые нужно выполнить и сдать в удаленном режиме, и обязательный гибридный экзамен во время сессии. Наравне со свободным выбором предметов студент сам выбирает, в какую сессию сдавать экзамены. В течение года проходят 3 сессии: в январе–феврале, июне–июле и сентябре. Студенты имеют право на бесплатную пересдачу, если не устраивает оценка, для этого нужно сдать этот же экзамен во время следующей сессии. Аналогичная система оценки успеваемости вводится и в НАУ “ХАИ”.

Занятия в итальянских университетах делятся на лекционные и групповые. Во время лекций преподаватели используют презентации и видеосъемку, чтобы у не посещающих или пропустивших занятия студентов был доступ к материалам лекции. Часто практикуются совместные лекции с другими университетами Европейского Союза через Skype или Google Hangouts. Также на лекциях присутствуют приглашенные лекторы из других университетов или специалисты из предметной области. Групповые занятия проводят лекторы либо же ассистенты лектора – PhD-студенты. Во время групповых занятий есть возможность индивидуальной работы и консультации с преподавателями. Также возможно заранее забронировать консультацию. В НАУ “ХАИ” изредка к проведению занятий приглашаются специалисты в различных областях. Однако это является скорее исключением из правил, чем постоянной практикой. Проблематичным является выступление иностранных лекторов. Самый большой вопрос – языковой. Английским языком на уровне, необходимом для понимания излагаемого материала, владеют примерно 20 % обучаемых. Поэтому проведение таких занятий с привлечением зарубежных специалистов не имеет смысла.

***Сравнение особенностей систем высшего образования Украины и Италии.*** Рассмотрим организацию учебного процесса на примере дисциплины “Методологии управления проектами и командами”, которая была организована на примере реальных кейсов и постоянной работы. Студентов разделили на группы по 6 незнакомых человек, дали инструменты для анализа и принятия решений. Необходимо было в течении двух пар выбрать идею для проекта и обосновать ее актуальность перед профессорами. Идея могла быть любой: от создания сайта для помощи вынужденным переселенцам из Сирии до разработки AR-приложения для знакомств однополых пар. Все зависело от принятого группой решения и их последующей работы.

В нашей команде были ребята из Германии, Италии, США, Украины. Нам всем было сложно на начальном этапе – мы еще не умели коллективно принимать решения, работая в команде, а также у каждого были амбиции и

---

точка зрения насчет того, куда нам нужно двигаться. Было интересно и полезно пройти все этапы разработки продукта и работать над решениями для сферы, которую мы выбрали. Так же и наш продукт со временем трансформировался, потому что был ориентирован не на получение баллов за предмет, а на то, чтобы принести пользу людям и быть нужным. По итогу данного проекта нами была создана цифровая артефакт-карта для навигации в одном из итальянских музеев. В этом музее у посетителей возникала проблема, вызванная большими размерами сооружения и неопределенностью, которую они чувствовали во время посещения экспозиции без гида. Путем опроса посетителей, совещаний с администрацией музея, индивидуальной и командной работы и консультациями с преподавателями группа разработала и представила первую версию проекта.

При работе над этим проектом наша группа обрела бесценный опыт общения как между собой, так и с представителями администрации музея. В результате была достигнута договоренность о бесплатном посещении музея для проведения исследования и разработки программного продукта, который улучшил посещаемость музея. Сейчас наша группа продолжает работать над этим проектом, но уже по просьбе администрации музея с оплатой выполненной работы.

**Использование информационных технологий.** Если рассмотреть организацию учебного процесса с точки зрения применения современных ИТ-технологий, то окажется, что в итальянских и украинских университетах они широко используются. Однако использование этих технологий в Италии имеет более широкое распространение. Как видно из предыдущих выводов, ИТ-технологии применяются начиная с первого шага студента в университете. Это обусловлено самой организацией учебного процесса, привлечением студентов к подготовке и проведению занятий, организацией их самостоятельной работы, подходами к обучению принятия самостоятельных решений и ответственности за их выполнение. Чего только стоит проведение видеосъемки лекций. Это требует основательной подготовки лектора, глубочайшего знания излагаемого материала, умения контролировать всех обучаемых и держаться “в кадре”.

В НАУ “ХАИ” в последние годы делают практические шаги к внедрению дуального образования. Но если в дуальном образовании в большей мере говорится о профессионально-техническом образовании, то в обучении бакалавров возникают определенные трудности при внедрении такого вида образования. При всем том, что есть необходимость внедрения студентов в производственный процесс, будь то самолетостроение, разработка систем управления или программного продукта, осуществить его достаточно проблематично. Использование индивидуальных заданий с возможностью их

---

контроля в режиме онлайн позволяет частично решить эту задачу исключительно благодаря современным информационным технологиям.

**Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.** В предлагаемой работе выполнена сравнительная характеристика организации и проведения учебного процесса в двух университетах: университете Тренто (Италия) и Национальном аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт” (Украина). Оба эти вуза входят в первую двадцатку национальных рейтингов. Сравнительная характеристика основывалась на применении средств современных IT-технологий. В некоторых разделах работы применение этих технологий было показано опосредственно. Главный вывод, который можно сделать по материалам представленной работы заключается в том, что организация учебного процесса в высшей школе не возможна без применения современных IT-технологий. В итальянских университетах этому вопросу придают большее значение. К сожалению, в украинских университетах еще сказывается недостаток обычной вычислительной техники. Решение данного вопроса зачастую выходит за пределы компетенций учебных заведений. Большой потенциал в использовании современных IT-технологий в университетах нашей страны кроется в привлечении студентов к оплачиваемой научной работе, которую можно было бы организовать практически в любом вузе. Кроме этого, в НАУ “ХАИ” используется привлечение IT-компаний к учебному процессу и развитию материально-учебной базы.

#### **Список использованных источников:**

1. Национальный Болонский центр. Основные документы. URL: [https://bologna-centr.at.ua/index/osnovnye\\_dokumenty/0-35](https://bologna-centr.at.ua/index/osnovnye_dokumenty/0-35) (дата обращения 15.09.2019).
2. QS World University Rankings | Top Universities. URL: <https://www.topuniversities.com/qs-world-university-rankings> (дата обращения 25.08.2019).
3. Рейтинг університетів “ТОП-200 Україна” 2019 р. / Освіта.UA. URL: <https://osvita.ua/vnz/rating/64884> (дата обращения 11.10.2019).
4. Образование за рубежом | Обучение за границей с UniPage. URL: <https://www.unipage.net> (дата обращения 15.09.2019).
5. Вартість навчання у ВНЗ України | Abiturients.info. URL: [https://abiturients.info/uk/cenaobuch?order=field\\_sr\\_cena\\_vuz\\_bakal\\_ochno&sort=desc](https://abiturients.info/uk/cenaobuch?order=field_sr_cena_vuz_bakal_ochno&sort=desc) (дата обращения 15.09.2019).
6. ABROADZ: Высшее образование в Италии. URL: [https://abroadz.com/articles/Visshiee\\_obrazovanie\\_v\\_Italii](https://abroadz.com/articles/Visshiee_obrazovanie_v_Italii) (дата обращения 11.09.2019).

---

7. Где получить высшее образование. URL: <https://www.education-medelle.com/articles/gde-poluchit-visschee-obrazovanie.html> (дата обращения 15.11.2019).

8. Best universities in Italy | Times Higher Education (THE). URL: <https://www.timeshighereducation.com/student/best-universities/best-universities-italy> (дата обращения 11.09.2019).

9. Рейтинг специальностей за кількістю поданих заяв / Освіта.UA. URL: <https://osvita.ua/consultations/bachelor/65128> (дата обращения 15.09.2019).

#### References:

1. *Natsional'nyy Bolonskiy tsentr Osnovnyye dokumenty* [National Bologna Center. The main documents], available at: [https://bologna-centr.at.ua/index/osnovnye\\_dokumenty/0-35](https://bologna-centr.at.ua/index/osnovnye_dokumenty/0-35) (date of the application 15.09.2019).

2. QS World University Rankings | Top Universities, available at: <https://www.topuniversities.com/qs-world-university-rankings> (data obrashcheniya 25.08.2019).

3. Education.UA (2019), *Reytnh universytetiv "TOP-200 Ukrayina" 2019 roku* [The rating of universities "TOP-200 Ukraine" in 2019], available at: <https://osvita.ua/vnz/rating/64884/> (date of the application 11.10.2019).

4. *Obrazovaniye za rubezhom | Obucheniye za granitsey s UniPage* [Education Abroad | Study Abroad with UniPage], available at: <https://www.unipage.net> (date of the application 15.09.2019).

5. *Vartist' navchannya u VNZ Ukraini* [Tuition fees in Ukraine Universities], Abiturients.info, available at: [https://abiturients.info/uk/cenaobuch?order=field\\_sr\\_cena\\_vuz\\_bakal\\_ochno&sort=desc](https://abiturients.info/uk/cenaobuch?order=field_sr_cena_vuz_bakal_ochno&sort=desc) (date of the application 15.09.2019).

6. ABROADZ: *Vyssheye obrazovaniye v Italii* [Higher education in Italy], available at: [https://abroadz.com/articles/Visshee\\_obrazovanie\\_v\\_Italii](https://abroadz.com/articles/Visshee_obrazovanie_v_Italii) (date of the application 11.09.2019).

7. *Gde poluchit' vyssheye obrazovaniye* [Where to get higher education], available at: <https://www.education-medelle.com/articles/gde-poluchit-visschee-obrazovanie.html> (date of the application 15.11.2019).

8. Best universities in Italy | Times Higher Education (THE), available at: <https://www.timeshighereducation.com/student/best-universities/best-universities-italy> (date of the application 11.09.2019).

9. Education.UA *Reyting spetsial'nostey za kil'kisty podanikh zayav* [Rating of specialties by the number of applications submitted], available at: <https://osvita.ua/consultations/bachelor/65128> (date of the application 15.09.2019).



DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-2-58-14>  
УДК 338:656.078

**В. П. Колесніков**, кандидат економічних наук, професор кафедри маркетингу та логістики Українського державного хіміко-технологічного університету  
**Н. М. Чуприна**, кандидат економічних наук, доцент кафедри маркетингу та логістики Українського державного хіміко-технологічного університету  
**В. В. Гаркуша**, кандидат економічних наук, доцент кафедри маркетингу та логістики Українського державного хіміко-технологічного університету  
**О. В. Кучкова**, старший викладач кафедри маркетингу та логістики Українського державного хіміко-технологічного університету

### **МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ПОБУДОВИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ**

*Проаналізовано європейський досвід розвитку транспортно-логістичних центрів із метою виявлення можливостей адаптації в Україні. Досліджено специфіку функціонування міжнародних транспортно-логістичних центрів Німеччини, Італії, Франції, Китаю, Японії та ін. Розкрито особливості функціонування логістичних центрів Західної Європи, Росії та КНР.*

*У результаті досліджень виявлено основні перешкоди розвитку вітчизняного логістичного ринку, окреслено перспективи щодо створення транспортно-логістичних центрів регіонального та міжнародного значення.*

*Ключові слова: транспорт; логістичні центри; зарубіжний досвід; логістика; інвестиції; ефективність.*

*Проанализирован европейский опыт развития транспортно-логистических центров с целью выявления возможностей адаптации в Украине. Исследована специфика функционирования международных транспортно-логистических центров Германии, Италии, Франции, Китая, Японии и др. Раскрыты особенности функционирования логистических центров Западной Европы, России и КНР.*

© В. П. Колесніков, Н. М. Чуприна, В. В. Гаркуша, О. В. Кучкова, 2019

---

*В результате исследований выявлены основные препятствия на пути развития отечественного логистического рынка. Определены перспективы создания транспортно-логистических центров регионального и международного значения.*

*Ключевые слова: транспорт; логистические центры; зарубежный опыт; логистика; инвестиции; эффективность.*

*Current trends in international trade are related to the establishment and distribution of transport and logistics centers. Foreign practice demonstrates that the latter is the most successful form of organization of international freight. Such centers make it possible to combine transport types and offer a wide range of related services. The article describes the European experience in the development of transport and logistics centers in order to identify opportunities for its adaptation in Ukraine. The experience of the countries of Western Europe testifies to the huge role of transport and logistics centers. The peculiarities of the functioning of international transport and logistics centers of such countries as Germany, Italy, France, China, Japan and others are investigated. The peculiarities of the functioning of logistics centers in Western Europe, Russia and China are revealed. It is revealed that in the countries of the European Union large transport and logistics centers are created with the support of the state. All transport and logistics centers in the European Union are in accordance with the conventional structure, and the presence or absence of individual elements depends on the size of the transport and logistics center, its location and purpose of operation. The research revealed the main obstacles to the development of the domestic logistics market. The prospects of creation of transport and logistics centers not only of regional but also international importance in Ukraine are outlined. For successful operation of transport and logistics centers there is a lack of: developed transport infrastructure and integration of transport enterprises; cooperation between state bodies of executive power; diversification of transport services; efficiency of organizational procedures; the latest high-tech and functional technologies; public support or significant private investment. The development and implementation of existing mechanisms and methods for the efficient management of transport and logistics centers in Ukraine can provide significant competitive advantages to the transport sector and the country's economy as a whole, which is a promising area for further scientific and practical research.*

*Key words: transport; logistics centers; foreign experience; logistics; investments; efficiency.*

**Постановка проблеми.** Побудова транспортно-логістичних центрів в Україні є пріоритетнішим напрямом підвищення ефективності транспортно-

---

го обслуговування. Аналіз іноземного досвіду розвинутих країн функціонування інтегрованих транспортно-логістичних центрів свідчить, що транспортні витрати у таких структурах зменшуються приблизно до 20 %, витрати на вантажно-розвантажувальні роботи і зберігання матеріальних ресурсів та готової продукції – на 15–30 %, транспортні витрати – на 12–35 %. Оборотно-ність матеріальних ресурсів завдяки використанню транспортно-логістичних центрів збільшується до 40 %, а запаси матеріальних ресурсів та готової продукції збільшуються до 65 % [1, 23].

Закономірно, що питома вага логістичних центрів у формуванні бюджету розвинутих країн світу значна, при цьому вона постійно збільшується. Так, у Голландії діяльність транзитних логістичних центрів приносить 40 % доходу транспортного комплексу, у Франції – 31 %, у Німеччині – 25 %. У країнах Центральної та Східної Європи ця частка в середньому становить 30 %. Усього ж загальний оборот європейського ринку логістичних послуг сягає понад 600 млрд євро. З них близько 30 % логістичних функцій у всіх галузях економіки щорічно реалізуються спеціалізованими компаніями [2]. Водночас в Україні частка транспортно-логістичних центрів у загальному обсязі транспортно-логістичних провайдерів становить лише близько 1–3 % [3, 121]. Таким чином, питання аналізу зарубіжного досвіду щодо створення й управління транспортно-логістичними центрами вкрай актуальне.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми функціонування й управління транспортно-логістичними центрами дуже поширені в науковій літературі. Над цією проблематикою працюють такі вітчизняні та зарубіжні вчені: О. В. Бульба, В. О. Дьомін, Д. В. Курочкін, Н. Б. Лобанов, Л. Б. Міротин, І. В. Панова, С. В. Савенко, В. І. Сергєєв, С. С. Соколов, Є. Є. Тулендієв, О. О. Хромих. Однак додаткового дослідження та узагальнення потребує світовий досвід організації логістичної діяльності з метою визначення можливостей розвитку транспортно-логістичних центрів України.

**Мета статті** – визначення специфіки діяльності міжнародних транспортно-логістичних центрів залежно від країни; встановлення конкурентних переваг транспортно-логістичних центрів розвинутих країн світу, окреслення перспективи створення в Україні транспортно-логістичних центрів не лише регіонального, але й міжнародного значення.

**Виклад основного матеріалу.** Розглядаючи світовий досвід створення і функціонування логістичних центрів, на особливу увагу заслуговує закордонний досвід Німеччини, Італії, Франції, Китаю, Японії та ін.

Найбільшого розвитку транспортно-логістична інфраструктура отримала в Німеччині. У 1993 р. було створено товариство розвитку та експлуатації логістичних центрів – Deutsche GVZ Gesellschaft mbH, за допомогою якого потім був реалізований план побудови 39 логістичних центрів. Центри

---

транспортної логістики у цій країні формувалися на основі залізничних ліній. Деякі з них розраховані на перехресне використання залізничного та автомобільного транспорту [4].

У Німеччині функціонує два типи логістичних центрів: один тип має приватну власність, а другий – належить до міської комунальної власності. 80 % усіх логістичних центрів Німеччини розміщено поблизу залізничних магістралей, вони є об'єктами інфраструктури залізниць (Deutsche Bahn AG) і забезпечують їй лівову частку інвестицій. Окрім того, близько 75 % логістичних центрів мають сполучення з транспортом загального користування, 60 % – використовують у своїй діяльності комбінований транспорт. Зокрема, такі великі німецькі транспортні вузли, як м. Бремен та м. Любек, мають пряме сполучення з водним транспортом, а м. Гамбург – із водним і повітряним транспортом [5, 177].

Ці логістичні центри керуються через наглядові органи. Вони створюються різноманітними компаніями й організаціями – учасниками проекту: інвестиційними корпораціями, консорціумами, великими компаніями стартапів, асоціаціями та спілками. Державне регулювання здійснюється тільки на двох етапах становлення транспортно-логістичного центру, а саме – на етапі планування та на етапі вкладання інвестицій у розвиток транспортно-логістичного центру [6, 217].

Логістичні центри Німеччини мають деякі особливості:

- велика підтримка з боку держави на всіх рівнях;
- участь державного сектора ґрунтується на федеральних законах і законах федеральних земель;
- федеральний бюджет бере участь у фінансуванні інвестицій через “німецьку інфраструктуру залізниць” (Deutsche Bahn AG);
- виділення дотацій бюджетам федеральних земель, цільових дотацій та кредитування за конкретними інвестиціями;
- фінансова підтримка інвестицій здійснюється федеральними землями й місцевими самоврядуванням.

Наразі в таких проектах визначені джерела фінансування інвестиційних коштів. До них належать:

- транспортні компанії, інвестори, які бажають зробити інфраструктуру доступною логістичним операторам;
- суб'єкти ринку, що утворюють об'єднання з приватним капіталом;
- бюджетні кошти й цільові фонди федеральних земель;
- програми і федеральні фонди, що спрямовані на розвиток інфраструктури;
- фінансові програми, дотації містам і регіонам;
- дотації та програми ЄС.

---

Інвестиційний капітал доповнюється також банківським кредитом [7].

Однією з провідних країн, де функціонує транспортно-логістична система, є Італія. Найбільшим транспортно-логістичним центром в Італії вважається Bologna Freight Village. Він розташований на перетині п'яти залізничних і чотирьох автомобільних шляхів, забезпечуючи обслуговування понад 35 % внутрішніх вантажних потоків та обробку 16 % міжнародних вантажів, що прямують через країну. Bologna Freight Village є великим транспортно-логістичним центром, до складу якого входить близько 100 національних і міжнародних транспортних та логістичних компаній, а також митна служба, банківські установи, організації поштового зв'язку та культурні заклади [8].

Загалом транспортно-логістична інфраструктура Італії досягла значних успіхів у результаті реалізації національного генерального плану розвитку транспорту в 1986 р., який визначив дворівневу мережу “інтерпорти” – об'єктів транспортно-логістичних центрів (місця макrorівня для міжнародного транспорту та рівня національного транспорту). Основною метою створення мережі транспортно-логістичних центрів в Італії стала концентрація вантажних потоків з урахуванням збалансованих транспортних рішень. Фінансування проєктів розвитку транспортно-логістичних центрів у цій країні відбувалось на принципах державно-приватного партнерства, де державі відводилася роль як ініціатора проєкту, так і інвестора, що за рахунок державних бюджетів різних рівнів поряд із приватними інвестиціями забезпечував фінансовими ресурсами ці проєкти.

Таким чином, в Італії було створено регіональну логістичну платформу в області Фріулі-Венеція-Джулія, яка є системою взаємодії всіх регіональних мультимодальних транспортних вузлів, представлених транспортними структурами, в результаті взаємодії яких функціонує єдиний взаємопов'язаний і взаємодоповнювальний регіональний транспортний комплекс, який сприяє зростанню як вантажопотоків, так і пасажиропотоків.

Транспортно-логістичні центри Франції формувались у межах проєкту з удосконалення транспортної системи Парижу шляхом концентрації логістичних послуг на периферії. Для французької моделі розвитку транспортно-логістичних центрів характерно те, що її планування, розвиток та управління здійснюється виключно приватними інвесторами, які повністю забезпечують створення і функціонування цих об'єктів інфраструктури. Нині тут найбільшими інвесторами ринку логістичної інфраструктури є компанія “Garonog SA”, що належить американській інвестиційній компанії “ProLogis”, та компанія “Sogaris SA”, яка перебуває в розпорядженні держави та муніципалітетів. Найбільшим недоліком цієї моделі розвитку транспортно-логістичних

---

центрів є відсутність скоординованого централізованого планування проектів розвитку міжнародних логістичних центрів, оскільки держава бере участь у їхній реалізації лише шляхом надання дозволів на їхнє будівництво, керуючись цілями місцевого й регіонального планування [9, 5].

Британська модель розбудови транспортно-логістичних центрів пов'язана з будівництвом тунелю під Ла-Маншем. У зв'язку з цим було передбачено створення 10 інтермодальних терміналів і логістичних центрів для обслуговування промислових районів. Ініціатором їх формування виступала дочірня компанія Британських залізниць "Rail freight Distribution". З приватизацією Британських залізниць відбулася зміна концепції формування транспортно-логістичних центрів у Великобританії, основою якої стали інтермодальні термінали та системи грантів на залізничні перевезення вантажів. Це сприяло розвитку особливої форми фінансування проектів розбудови транспортно-логістичних центрів, з двома основними схемами бюджетного фінансування: грантами на об'єкти вантажної інфраструктури та грантами за доступ до залізничної колії. Перша схема виділення бюджетних коштів уможливує покриття витрат на створення інфраструктурних об'єктів з обробки залізничних вантажів. За її допомогою здійснювалося й відновлення наявних пунктів обробки вантажів. Друга схема дає змогу компаніям здійснювати виплати за користування залізничною інфраструктурою. За оцінкою експертів проекту "Європлатформа", більшість об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури (далі – ТЛІ) Великобританії являють собою розподільчі центри, що забезпечують інтермодальний зв'язок, а загалом модель їхнього розвитку характеризується досить низькою ефективністю через відсутність загальної політики розбудови та підходів до планування цих об'єктів інфраструктури [10, 29].

У Китаї логістичні центри являють собою вільну економічну зону, в якій частково проводяться науково-дослідні розробки. Зокрема, в китайській провінції Тайвань логістичний центр поділено на три зони. В індустріальній зоні розміщено виробництво текстильної, хімічної та іншої промисловості. В науковій індустріальній зоні проходять дослідження й розвиток, підтримка виробництва й навчання за високотехнологічними напрямками.

У КНР надання логістичних і фінансових послуг у зонах вільної торгівлі (Free Trade Zones) регулюється принциповими положеннями, що регламентують перелік діяльності, форму власності, відповідність певним умовам, наявність досвіду діяльності у сфері міжнародної торгівлі й міжнародних вантажних перевезень, обмежений термін дії тощо [4]. Наприклад, такими положеннями визначено, що логістичні підприємства з іноземними інвестиціями можуть здійснювати послуги з перевезення вантажів, склад-

---

ського зберігання, навантажувально-розвантажувальних робіт, пакування, консолідації, комплектації, інформаційного супроводження, а також послуги з оформлення зовнішньоторговельних договорів стосовно експорту зазначених вантажів. При цьому хоча б один із учасників-інвесторів спільного підприємства повинен мати позитивний досвід роботи в галузі міжнародної торгівлі, міжнародних вантажних перевезень або практику агента з таких перевезень. Діяльність зі створення спільних транспортно-логістичних центрів з іноземними інвестиціями та запровадження логістичного сервісу (перевезення вантажів, створення інформаційно-обчислювальних мережних систем управління перевезеннями) суворо контролюється державою шляхом видачі дозволів. При цьому розширення сфери діяльності таких підприємств (розширення асортименту логістичних послуг) відбувається тільки відповідно до законодавчо затверджених програм.

В Японії логістичний центр (логістичний хаб) так само, як і в Китаї, створений за принципом вільної економічної зони. Тут проходить складування, класифікація, контроль, тестування, переробка, збирання, пакування та виставки імпортованих товарів [11].

Транспортно-логістичні центри Азії концентруються переважно поблизу портів або ж безпосередньо на їхній території. На сучасному етапі розвитку транспортно-логістичних центрів Азії спостерігається тенденція до диверсифікації видів транспорту, розширення спектра основних і супутніх послуг, активної діяльності на міжнародних ринках тощо. Таким чином, країни Азії переорієнтовують логістичні компанії і центри у великі міжнародні транспортно-логістичні утворення.

Для Сінгапуру, що є провідним регіональним і міжнародним мульти-модально-логістичним центром Південно-Східної Азії, логістична індустрія відіграє стратегічно визначальну роль серед галузей економіки [12, 33]. Тобто державна підтримка транспортно-логістичних центрів Азії також значна. При цьому вагомі фінансові надходження здійснюються зарубіжними приватними інвесторами.

Таким чином, аналіз світового досвіду створення й управління транспортно-логістичними центрами дає змогу зробити висновок щодо перспективності відповідного напрямку розвитку вітчизняної економіки.

Сучасна галузь транспорту в Україні в цілому задовольняє потреби національної економіки та населення у перевезеннях, проте рівень безпеки, показники якості та ефективності перевезень пасажирів і вантажів, енерго-ефективності, техногенного навантаження на навколишнє природне середовище не відповідають світовим стандартам. Розглянемо детальніше структуру ринку України щодо вантажних перевезень (рис. 1).

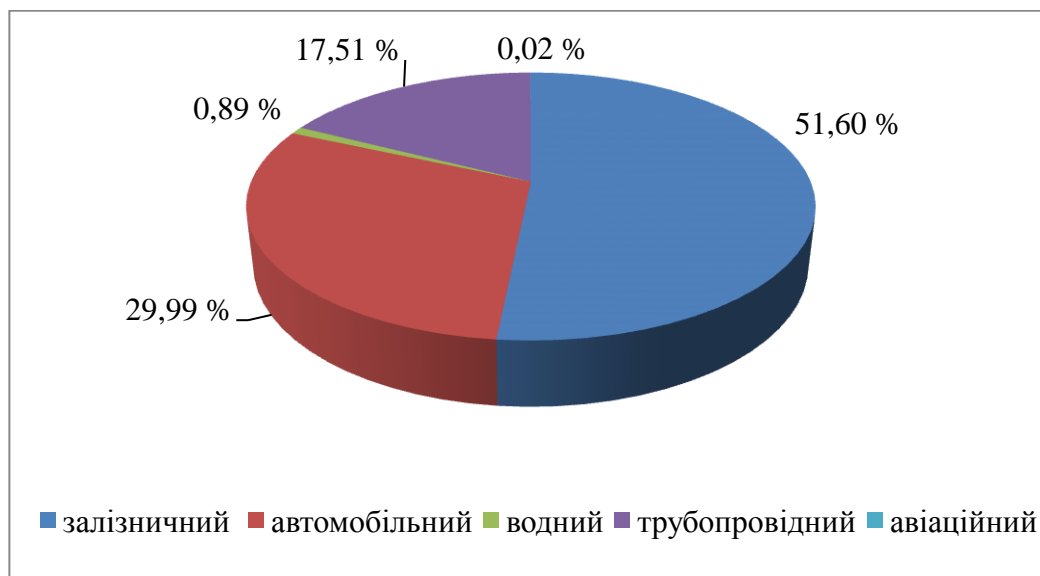


Рис. 1. Структура вантажних перевезень усіма видами транспорту за 2018 р., % [13]

Із наведених даних видно, що найбільша частка вантажних перевезень здійснюється залізничним транспортом (51,60 %), а найменша – авіаційним (0,02 %). Невідкладного вирішення потребують питання модернізації об'єктів інфраструктури залізниць, аеро- та морських портів, забезпечення розвитку мережі автомобільних доріг загального користування відповідно до темпів автомобілізації країни. Потребує реформування система управління залізничним, морським та автомобільним транспортом, дорожнім господарством.

Транспортна система України має всі необхідні передумови для формування великих транспортно-логістичних центрів, зокрема:

1. Україна має у своєму розпорядженні потужну транспортну систему, до якої входять залізничний, морський, річковий, автомобільний, повітряний і трубопровідний транспорт.

2. Вигідне географічне розташування, що передбачає можливість і необхідність створення численних транспортних коридорів. Цей факт має особливе значення в умовах інтенсифікації зовнішніх зв'язків не лише між європейськими країнами, але й між країнами Європи та Азії.

3. Інтеграція з країнами Центральної та Східної Європи, що виявляється в розвитку відповідних транспортних коридорів.

4. Участь України в міжнародних проєктах інтеграції та розвитку.



---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Таким чином, наведений перелік передумов надає Україні значні конкурентні переваги у разі створення транспортно-логістичних центрів. Проте для успішного функціонування серед означених вище переваг вітчизняним транспортно-логістичним центрам бракує:

- розвиненої транспортної інфраструктури та інтеграції транспортних підприємств;
- співпраці між державними органами виконавчої влади; диверсифікації транспортних послуг;
- оперативності організаційних процедур;
- новітніх високотехнологічних і функціональних технологій;
- наявності державної підтримки або значних приватних інвестицій.

У зв'язку з цим розробка нових та впровадження наявних (у тому числі відомих у світовій практиці) механізмів і методів ефективного управління транспортно-логістичними центрами України можуть надати значних конкурентних переваг транспортному сектору та економіці країни загалом, що і є перспективним напрямом подальших наукових і практичних досліджень.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Тулендиев Е. Е.* Научно-методические основы развития системы региональных транспортно-логистических центров (на примере Республики Казахстан): автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. экон. наук: 08.00.05. Минск, 2009. 23 с.
2. *Лобанов Н. Б.* Транспортно-логистические центры: зарубежный опыт. URL: <http://www.lobanov-logist.ru/library/355/57650>
3. *Лук'янова О. М., Кривцун Д. Ю.* Світовий досвід та перспективи розвитку транспортно-логістичної системи України // Економіка та суспільство: електронне наукове видання Мукачівського державного університету. 2018. № 18. С. 166–171. URL: <http://www.economyandsociety.in.ua/journal-18/25-stati-18/2231-luk-yanova-o-m-krivtsun-d-yu>
4. Транспортно-логистические центры: зарубежный опыт. URL: <http://www.elc-ua.com/ru/news/60>
5. *Полякова О. М., Шраменко О. В.* Сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичної інфраструктури в Україні і світі // Проблеми транспортного комплексу України. 2017. № 58. С. 126–134.
6. *Полякова О. М., Соломніков І. В.* Передумови форсування мережі мультимодальних транспортно-логістичних центрів в Україні // Вісник економіки і промисловості. 2015. № 34. С. 217–222.
7. *Пальникова Е. Н.* Методы повышения конкурентоспособности автомобильного грузового транспорта // Молодой ученый. 2016. № 10. С. 809–814. URL: <https://moluch.ru/archive/114/29633>

---

8. Савенко С. В. Развитие транспортно-логистических центров в европейском регионе. URL: <http://transportinform.com/315-razvitie-transportno-logisticheskikhcentrov.html>

9. Кузьменко А. В. Досвід та закономірності формування світової транспортно-логістичної інфраструктури // Науковий огляд. 2015. № 7. С. 5–18.

10. Тарнавська Н. П., Сивак Р. Б. Організаційні та інфраструктурні передумови створення міжнародного логістичного центру // Бізнес-Інформ. 2016. № 13. С. 29–35.

11. Ширяєва Л. В., Козеренко І. А. Перспективи розвитку логістичних центрів в Україні на основі Європейської та азійської моделей // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. 2017. № 4 (146). С. 74–81.

12. Мандра В. В. Аналіз світового досвіду управління транспортно-логістичним центром // Економічний аналіз. 2016. № 2. С. 92–97.

13. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>

### References:

1. Tylandiev E. E. (2009), *Nauchno-metodicheskiye osnovy razvitiya sistemy regional'nykh transportno-logisticheskikh tse ntrov (na primere Respubliki Kazakhstan)* [Scientific and methodological principles of the development of the system of regional transport and logistics centers (on the example of the Republic of Kazakhstan)]: Ph.D Thesis: 08.00.05. Minsk, 23 p. [Belarus].

2. Lobanov N. B. *Transportno-logisticheskkiye tse ntry: zarubezhnyy opyt* [Transport and logistics centers: foreign experience], available at: <http://www.lobanov-logist.ru/library/355/57650> [Russia].

3. Luk'yanova O. M. and Kryvt sun D. Yu. (2018), “*Svitovyy dosvid ta perspektyvy rozvytku transportno-lohistychnoyi systemy Ukrayiny*” [“World experience and prospects of development of transport and logistics system of Ukraine”], Journal *Ekonomika ta suspil'stvo* [Economy and society], electronic scientific edition of Mukachevo State University, vol. 18, pp. 166–171, available at: <http://www.economyandsociety.in.ua/journal-18/25-stati-18/2231-luk-yanova-o-m-kryvt sun-d-yu> [Ukraine].

4. *Transportno-logictuchni centru: cvitovui dosvid* [“Transportation and logistics centers: foreign experience”], available at: <http://www.elc-ua.com/ru/news/60> [Ukraine].

5. Polyakova O. M. and Shramenko O. V. (2017), “*Cuchasni tendentsiyi rozvytku trans portno-lohistychnoyi infrastruktury v Ukrayini i sviti*” [“Modern tendencies of development of transport and logistics infrastructure in Ukraine and in the world”], Journal *Problemy transportnoho kompleksu Ukrayiny* [Problems of the transport complex of Ukraine, vol. 58, pp. 126–134 [Ukraine].

- 
6. Polyakova O. M. and Colomnikov I. B. (2015), “*Peredumovy forsuvannya merezhi mul'tymodal'nykh transportno-lohistychnykh tsestriv v Ukrayini*” [“Prerequisites for the formation of a network of multimodal transport and logistics centers in Ukraine”], Journal *Visnyk ekonomiky i promyslovosti* [Bulletin of economy and industry], vol. 34, pp. 217–222 [Ukraine]/
  7. Pal'nikova Ye. N. (2016), “*Metody povysheniya konkurentosposobnosti avtomobil'nogo gruzovogo transporta*” [“Methods of increasing the competitiveness of road freight transport”], Journal *Molodoy uchenyy* [Young scientist], vol. 10, pp. 809–814. URL <https://moluch.ru/archive/114/29633/> [Russia].
  8. Cavenko C. V. *Razvitiye transportno-logisticheskikh tsestriv v yevropeyskom regione* [Development of transport and logistics centers in the European region], available at: <http://transportinform.com/315-razvitie-transportno-logisticheskikhcentrov.html> [Belarus].
  9. Kyz'menko A. V. (2015), “*Dosvid ta zakhonomirnosti formuvannya svitovoyi transportno-lohistychnoyi infrastruktury*” [“Experience and patterns of formation of world transport and logistics infrastructure”], Journal *Naukovyy ohlyad* [Scientific Review], vol. 7, pp. 5–18 [Ukraine].
  10. Tarnavs'ka N. P. and Syvak R. B. (2016), “*Orhanizatsiyni ta infrastrukturni peredumovy stvorenniya mizhnarodnoho lohistychnoho tsestru*” [“Organizational and infrastructure prerequisites for the creation of an international logistics center”] Journal *Biznes–Inform* [Business-Inform], vol. 13, pp. 29–35 [Ukraine]
  11. Shirayeva L. V. and Kozerenko I. A. (2017), “*Percpektuvu rozvutky logictchnogo centry v Ykraine na ocnovi Evropeickoi ta aziatckoimodekeu*” [“Prospects for development of logistics centers in Ukraine based on European and Asian models”] Journal *Vicnuk Cxidnoykrainckogo nacionaln'jgo yniversitetu V. Dalay* [Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl], vol. 4 (146), pp. 74–81 [Ukraine].
  12. Mandra V. V. (2016), “*Analiz svitovoho dosvidu upravlinnya transportno-lohistychnym tsestrom*” [“Analysis of the world experience of management of transport and logistics center”], Journal *Ekonomichnyy analiz* [Economic analysis], vol. 2, pp. 92–97 [Ukraine].
  13. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny* [State Statistics Service of Ukraine], Official site, available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/> [Ukraine].

---

**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 англомовна 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. Стаття має бути набрана 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.