

ISSN 2521-6643

Системи та технології



№ 2 (60)

2020

Системи та технології

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

№ 2 (60)

Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки”, спеціальності – 113, 122, 123, 275 (наказ Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 р. № 409, додаток 1), 172 (наказ Міністерства освіти і науки України від 24.09.2020 № 1188, додаток 5)

Дніпро
Університет митної справи та фінансів
2020

УДК 62

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

Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою Університету митної справи та фінансів (протокол № 11 від 13.05.2020 р.)

Редакційна колегія:

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

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020-2-60>
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
Інформаційний сайт: <https://st-journal.com/index.php/journal/issue/view/2>

Підписано до друку 22.12.2020. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 15,00. Обл.-вид. арк. 13,33.

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

© Університет митної справи та фінансів, 2020

ЗМІСТ

Кучер Д. Б., Кучер Л. В., Смиринська Н. Б., Лишак Г. В. Експериментальні дослідження комплексної структури електровибухаючих провідників.....	5
Леснікова І. Ю., Халіпова Н. В., Маленко Є. В., Зборщенко А. А. Обґрунтування параметрів перевезень на міських і міжміських маршрутах Дніпропетровської області.....	33
Сазонець О. М. Оптимізація транспортних перевезень продукції деревообробної промисловості	55
Фірсов О. Д., Трофімов О. В. Просторові моделі теорії неперервних задач оптимального розбиття множин.....	67
Руденко О. А., Головка А. В., Поначовний Ю. Л. Удосконалення стенду автоматизації тестування функцій FPGA компонентів апаратно-програмних комплексів платформи RADICS	79
Тарасенко Ю. С., Солянніков В. Г., Калюжний О. Е. Концептуально-гносеологічні аспекти інформаційної безпеки (захищеності) з позицій соціальної інженерії.....	92
Тарасенко Ю. С., Прокопович-Ткаченко Д. І., Савченко Ю. В., Воскобойник В. О. Парадигма радіоелектронних вимірювань: від погрішності до невизначеності	102

CONTENTS

Kucher D. B., Kucher L. V., Smirinskaya N. B., Lyshak G.V. Experimental studies of the complex structure of electrically exploding conductors.....	5
Lesnikova I. Y., Khalipova N. V., Malenko J. V., Zborshchenko A. A. Substantiation of transportation parameters on urban and long-distance routes of Dnipropetrovsk region.....	33
Sazonets O. M. Optimization of transportation of woodworking industry products.....	55
Trofimov A. V., Firsov A. D. Spatial models of the theory of optimal division of sets' continuous problems.....	67
Rudenko O. A., Golovko A. V., Ponochovnyi Yu. L. Improvement of the stand of automation of testing of functions of FPGA of components of hardware and software complexes of the Radics platform.....	79
Tarasenko Yu. S., Solyannikov V. G. Kaliuzhnyi O. E. Conceptual-gnoseological aspects of information safety (security) from the position of social engineering.....	92
Tarasenko Yu. S., Prokopovych-Tkachenko D. I., Savchenko Iu. V., Voskoboynik V. O. Paradigm of electronic measurements: from error to uncertain ...	102

Д. Б. Кучер, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Озброєння Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

Л. В. Кучер, кандидат технічних наук, доцент кафедри Озброєння Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

Н. Б. Смиринська, провідний науковий співробітник Науково-дослідного центру ЗС України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

Г. В. Лишак, старший викладач кафедри Озброєння Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОВИБУХАЮЧИХ ПРОВІДНИКІВ

Процес розвитку сучасних високовольтних систем нерозривно пов'язаний із задачами швидкодійної комутації струмів високої щільності на різних елементах.

Застосування існуючих високовольтних засобів перемикання (реле, газових розрядників, контакторів, варисторів тощо) для послідовної комутації елементів в високовольтних системах обмежується, перш за все, їх високою інерційністю і неможливістю чітких збігів вольтамперних характеристик при перерозподілі струмів високої щільності всередині різних елементів.

Найбільш перспективним методом перерозподілу енергії при послідовній комутації декількох елементів може бути швидкий електричний вибух тонких провідників, супроводжуваний вторинним пробоем продуктів детонації. Даний ефект виникає при введенні в тонкий провідник

© Д. Б. Кучер, Л. В. Кучер, Н. Б. Смиринська, Г. В. Лишак, 2020

досить великої щільності струму ($j \approx 10^7$ А/см²).

Реалізація механізму швидкого електричного вибуху супроводжується розширенням, перетворенням в золь і втратою провідності провідника в наносекундному діапазоні, що може дозволити сформуванню ланцюжок послідовних перемикань різних елементів усередині високовольтної системи.

Для практичного підтвердження застосовності даного ефекту в швидкодіючих комутуючих установках представлені результати експериментальних досліджень, проведених в два етапи.

При проведенні першого етапу експерименту, електричний вибух застосовувався до одиночних провідників, з різною температурою плавлення, площею перетину і довжиною. Аналіз отриманих результатів показав, що шляхом зміни теплофізичних і конструктивних параметрів провідників можливо отримувати необхідні значення тривалості ефекту швидкого електричного вибуху.

На другому етапі експерименту, ґрунтуючись на результатах щодо тривалості ефекту швидкого електричного вибуху, було досліджено спеціальну комплексну структуру швидкодіючих комутуючих елементів. До складу структури були включені свинцеві провідники, що виконують роль комутаторів і вольфрамові провідники, електричний вибух яких загострював імпульсну напругу, що подається з генератора. Аналіз отриманих даних показав можливість створення послідовної комутації за рахунок електричного вибуху свинцевих провідників з подальшим пробоем продуктів їх детонації.

Представлені в роботі результати експериментальних досліджень підтверджують працездатність теоретичних методик, пов'язаних з використанням явищ швидкого електричного вибуху і вторинного пробоем продуктів їх детонації, для створення швидкодіючих комутуючих елементів струмів високої щільності.

Ключові слова: комутація струмів високої щільності; електровибухаючі провідники; швидкий електричний вибух; вторинний електричний пробій продуктів детонації; загострювання імпульсів.

Процесс развития современных высоковольтных систем неразрывно связан с задачами быстройдействующей коммутации токов высокой плотности на различных элементах.

Применение существующих высоковольтных средств переключения (реле, газовых разрядников, контакторов, варисторов и т.д.) для последовательной коммутации элементов в высоковольтных системах ограничивается их, прежде всего, высокой инерционностью и невозможностью строгого совпадения вольтамперных характеристик при перераспреде-

нии токов высокой плотности внутри различных элементов.

Наиболее перспективным методом перераспределения энергии при последовательной коммутации нескольких элементов может являться быстрый электрический взрыв тонких проводников, сопровождаемый вторичным пробоем продуктов детонации. Данный эффект возникает при вводе в тонкий проводник достаточно больших плотностей тока ($j \approx 10^7$ А/см²).

Реализация механизма быстрого электрического взрыва сопровождается расширением, превращением в золь и потерей проводимости проводника в наносекундном диапазоне, что может позволить сформировать цепочку последовательных переключений различных элементов внутри высоковольтной системы.

Для практического подтверждения применимости данного эффекта в быстродействующих коммутирующих установках представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в два этапа.

При проведении первого этапа эксперимента, электрический взрыв применялся к одиночным проводникам, с различной температурой плавления, площадью сечения и длиной. Анализ полученных результатов показал, что путём изменения теплофизических и конструктивных параметров проводников можно получать необходимых значений длительности эффекта быстрого электрического взрыва.

На втором этапе эксперимента, основываясь на результатах, длительности эффекта быстрого электрического взрыва, была исследована специальная комплексная структура быстродействующих коммутирующих элементов. В состав структуры были включены свинцовые проводники, выполняющие роль коммутаторов и вольфрамовые проводники, электрический взрыв которых обострял импульсное напряжение, подаваемое с генератора. Анализ полученных данных показал возможность создания последовательной коммутации за счет электрического взрыва свинцовых проводников с последующим пробоем его продуктов детонации.

Представленные в работе результаты экспериментальных исследований подтверждают работоспособность теоретических методик, связанных с использованием явлений быстрого электрического взрыва и вторичного пробоя продуктов детонации для создания быстродействующих коммутирующих элементов токов высокой плотности.

Ключевые слова: коммутация токов высокой плотности; электро-взрывающиеся проводники; быстрый электрический взрыв; вторичный электрический пробой продуктов детонации; обострение импульсов.

The development process of modern high-voltage systems is inextricably

linked with the tasks of high-speed switching of high-density currents on various elements.

The use of existing high-voltage switching means (relays, gas dischargers, contactors, varistors, etc.) for successive switching of elements in high-voltage systems is limited primarily by their high inertia and the impossibility of strict coincidence of voltampere characteristics when redistributing high-density currents inside various elements.

Fast electrical explosion of thin conductors accompanied by a secondary breakdown of detonation products can be the most promising method of energy redistribution during successive switching of several elements. This effect occurs when sufficiently high current densities are introduced into a thin conductor ($j \approx 10^7$ A/cm²).

The implementation of the fast electrical explosion mechanism is accompanied by expansion, transformation into a sol and loss of conductor conductivity in the nanosecond range, which may allow a chain of successive switching of various elements within the high-voltage system to be formed.

In order to practically prove the applicability of this effect in high-speed switching installations, the results of experimental studies carried out in two stages are presented.

At the first stage of the experiment, an electric explosion was applied to single conductors, with different melting temperature, cross-sectional area and length. The analysis of the obtained results showed that by changing the thermophysical and structural parameters of the conductors, it is possible to obtain the necessary values of the duration of the fast electrical explosion effect.

At the second stage of the experiment, based on the results of the duration of the fast electrical explosion effect, a special complex structure of high-speed switching elements was investigated. The structure included lead wires acting as switches and tungsten conductors whose electrical explosion sharpened the pulse voltage applied from the generator. Analysis of the obtained data showed the possibility of creating a successive commutation at the expense of the electric explosion of lead conductors with subsequent breakdown of its detonation products.

The results of experimental studies presented in the paper confirm the operability of theoretical methods related to the use of the phenomena of fast electrical explosion and secondary breakdown of detonation products to create high-speed switching elements of high-density currents.

Keywords: switching of high-density currents; electro-explosive conductors; fast electrical explosion; secondary electric breakdown of the detonation products; pulse sharpening.

Вступ. Сучасний етап розвитку систем спеціального й критичного призначення нерозривно пов'язаний з необхідністю вирішення нових завдань, одним з яких є можливість відведення або розподілу (комутації) високовольтної енергії всередині різних елементів.

Існуючі засоби комутації (реле, газові розрядники, контактори, варистори та інше) мають, перш за все, досить великі значення часу спрацьовування [1, 2] та є малоефективними для комутації імпульсних струмів наносекундної тривалості. В цьому відношенні найбільш перспективним методом перерозподілу енергії є вторинний пробій, що виникає при електричному вибуху провідників.

Постановка задачі. Аналіз результатів досліджень, наведених в роботах [3-7] показав, що для формування комутаційних процесів найбільш прийнятним є механізм швидкого електричного вибуху, який виникає за умови введення досить великої щільності струму ($j \approx 10^7$ А/см²) в провідник, діаметр якого складає $2a_0 \leq 0,2$ мм.

За реалізації даної умови електровибухаючий провідник (ЕВП) почне розширюватися без значних деформацій і перетворюється в золь, що складається з поперечних шарів конденсованого металу і ділянок низької щільності між ними (мікророзриви). Процес швидкого електричного вибуху незмінно супроводжується втратою провідності ЕВП в наносекундному діапазоні, що може дозволити сформувати ланцюжок перекомутацій навантаження при мікросекундному імпульсі з генератора [8, 9, 10].

У роботах [11, 12, 13] наведено результати теоретичних досліджень, які дозволяють зробити висновок, що для створення послідовних перемикачів необхідно підключати до генератора тугоплавкі ЕВП спеціалізованими комутаторами, принцип дії яких заснований на явищі вторинного пробію продуктів детонації електричного вибуху легкоплавких провідників.

Мета. Метою даної роботи є експериментальне підтвердження можливості створення швидкодіючих комутуючих елементів, здатних забезпечити послідовне перемикачання на навантаження імпульсних струмів високої щільності ($j \approx 10^7$ А/см²).

Результати дослідження. Експериментальні дослідження комплексної структури проводилися в два етапи.

На першому етапі досліджень, електричний вибух застосовувався до одиночних провідників з різною температурою плавлення, площею перети-

ну та довжиною. Вибір різних температурних та конструктивних параметрів ЕВП дозволив отримати різні значення загострення (зміни тривалості фронту і спаду) імпульсних сигналів, що подаються з генератора.

На другому етапі замість одиночних ЕВП до генератора підключалася комплексна структура, здатна підключати до генератора тугоплавкі ЕВП комутуючими елементами, принцип дії яких заснований на явищі вторинного пробою продуктів детонації електричного вибуху легкоплавких провідників.

Структурно ця схема експериментальних досліджень включає в себе (див. рис. 1):

- високовольтний генератор NSG 3060, розроблений фірмою TESEQ (Швейцарія) для перевірки ліній електроживлення на електромагнітну стійкість;

- ЕВП, що підключається до генератора на першому етапі досліджень. Даний провідник розміщувався між електродами в розрядній камері;

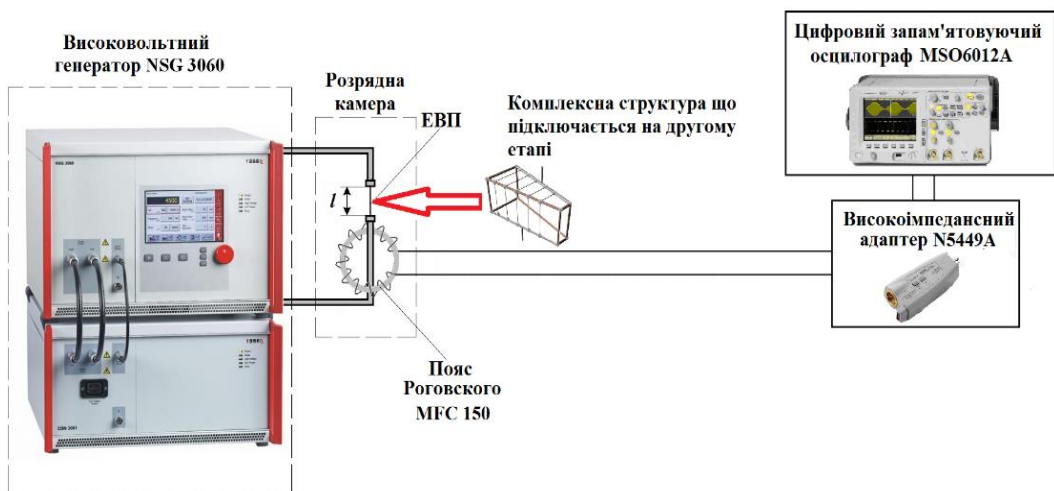


Рис. 1. Схема проведення експериментальних досліджень комплексної структури електровибухаючих провідників

- комплексну структуру, яка формує послідовне підключення до високовольтного генератора тугоплавких ЕВП комутуючими елементами;

- магнітний пояс або пояс Роговського (MFC 150), який використовується для вимірювання струму, що протікає через ЕВП ;

- цифровий запам'ятовуючий осцилограф MSO6012A, ввімкнений в ланцюг через високоімпедансний адаптер N5449A.

Джерело струмів високої щільності NSG 3060 (рис. 2) являє собою високовольтний генератор імпульсної напруги модульного типу.

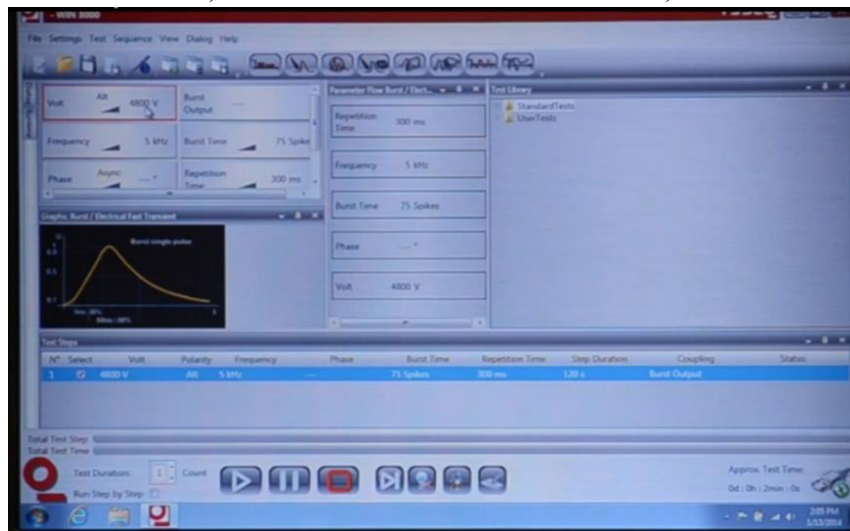


Рис. 2. Зовнішній вигляд генератора NSG 3060 (а) і порядок введення амплітудних і часових параметрів імпульсної напруги на навантаженні з використанням вбудованого (б) та зовнішнього інтерфейсу (в)

Для проведення експериментальних досліджень використовувалися чотири модуля (каскади), які дозволяють отримати розрядну напругу до 66 кВ (табл. 1), що було достатнім для реалізації механізму швидкого елект-

ричного вибуху металевих провідників. Управління генератором здійснюється за допомогою стандартизованого операторського інтерфейсу (див. рис. 2б) або Ethernet для підключення зовнішнього ПК або комп'ютерної мережі (див. рис. 2в), що дозволяє формувати на навантаженні імпульсну (або синусоїдальну) напругу з необхідними амплітудними і часовими параметрами.

Таблиця 1.

Основні параметри високовольтного генератора NSG 3060

Діапазон змін напруги одного модуля, В	від 200 до $6,6 \cdot 10^3$
Вихідна напруга чотирьох модулів, В	до $66 \cdot 10^3$
Діапазон змін розрядного струму одного модуля, А	від 100 до $3,3 \cdot 10^3$
Діапазон змін тривалості імпульсу струму, мкс	від 1 до 200
Час повторення імпульсу, с	до 4200 (70 хв.)

Для визначення значень загострення (зміни тривалості фронту і спаду) імпульсних сигналів, що подаються з генератора, було виготовлено 30 зразків свинцевих, алюмінієвих, мідних і вольфрамових електровибухаючих провідників, що мають різну температуру плавлення (див. табл. 2) і конструктивні параметри (див. табл. 3 і 4).

Таблиця 2.

Теплові та енергетичні характеристики електровибухаючих провідників

Матеріал ЕВП	Температура плавлення, °C	Питома енергія електричного вибуху, $\frac{Дж}{г}$	Питома енергія випаровування (сублімації), $\frac{Дж}{г}$
Свинець	327	$60,7 \cdot 10^3$	$1,67 \cdot 10^3$
Алюміній	660	$44,4 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$
Мідь	1083	$20,1 \cdot 10^3$	$7,05 \cdot 10^3$
Вольфрам	3422	$7,4 \cdot 10^3$	$10,23 \cdot 10^3$

Таблиця 3.

Конструктивні характеристики електровибухаючих провідників для експериментальних досліджень тривалості фронту імпульсних струмів, що подаються з генератора

Довжина ЕВП, м	Радіус ЕВП, м	Кількість зразків ЕВП
Свинцеві		
0,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,08 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,1 \cdot 10^{-3}$	30
Алюмінієві		
0,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,08 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,1 \cdot 10^{-3}$	30
Мідні		
0,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,08 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,1 \cdot 10^{-3}$	30
Вольфрамові		
0,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,08 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,1 \cdot 10^{-3}$	30

Таблиця 4.

Конструкційні характеристики електровибухаючих провідників для експериментальних досліджень загострення тривалості спаду імпульсних струмів, що подаються з генератора

Довжина ЕВП, м	Радіус ЕВП, м	Кількість зразків ЕВП
0,05	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,1	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30
0,5	$0,06 \cdot 10^{-3}$	30

Кожен із досліджуваних ЕВП поміщався в розрядний ланцюг генера-

тора за допомогою знімних електродів (рис. 3а), встановлених у струмопровідні шини за допомогою спеціальних муфт (рис. 3б).

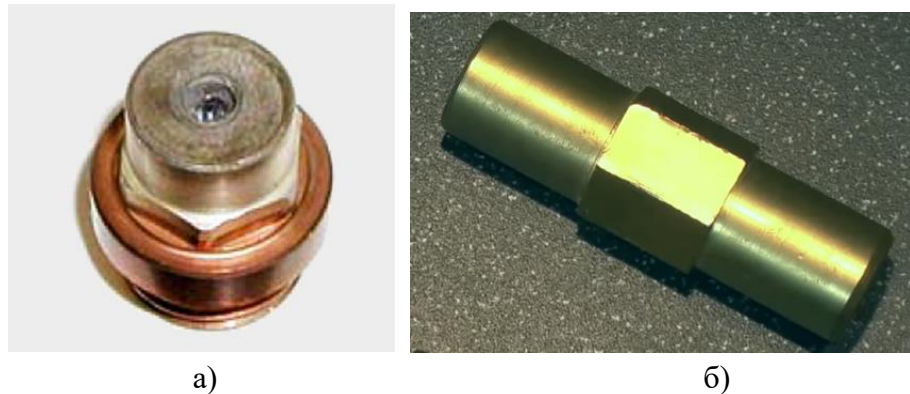


Рис. 3. Розрядні електроди для кріплення ЕВП в ланцюг генератора (а) й муфти їх кріплення на струмопровідні шини (б)

Для проведення другого етапу експерименту, замість одиночних ЕВП до генератора підключалася комплексна структура, здатна послідовно комутувати в ланцюг генератора тугоплавкі ЕВП (див. рис. 1 і 4).

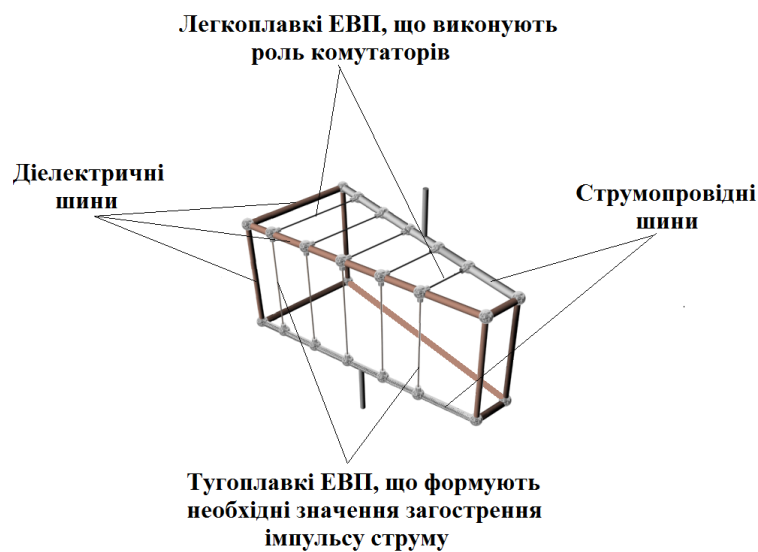


Рис. 4. Комплексна експериментальна структура послідовної комутації тугоплавких ЕВП в ланцюг генератора

До складу структури входять (рис. 4):

- легкоплавкі ЕВП, що виконують роль комутаторів і визначають не-

обхідну частоту слідування імпульсів у послідовності;

- тугоплавкі ЕВП, що формують необхідні часові параметри кожного імпульсу в послідовності;

- струмопровідні шини, безпосередньо зв'язані з електродами генератора й ЕВП;

- діелектричні шини, що розділяють струмопровідні шини.

Струмопровідні шини експериментальної структури здійснювали безпосередній контакт між виводами генератора та електродами, в яких розміщувалися ЕВП (див. рис. 5а, б). Діелектричні шини (див. рис. 5в), які виконані зі склопластику (СПП-ЕІ Т-155), просоченого сполучним розчином епоксидних смол (див. табл. 5), здійснювали розділення провідних елементів експериментальної структури.

Конструктивні розміри свинцевих (легкоплавких) ЕВП, вторинний пробій продуктів детонації яких визначає комутацію тугоплавких провідників, відповідають значенням, представленим у табл. 6.

У якості тугоплавких ЕВП застосовувалися вольфрамові дротинки однакової довжини та площі перетину (радіус $0,06 \cdot 10^{-3}$ м).

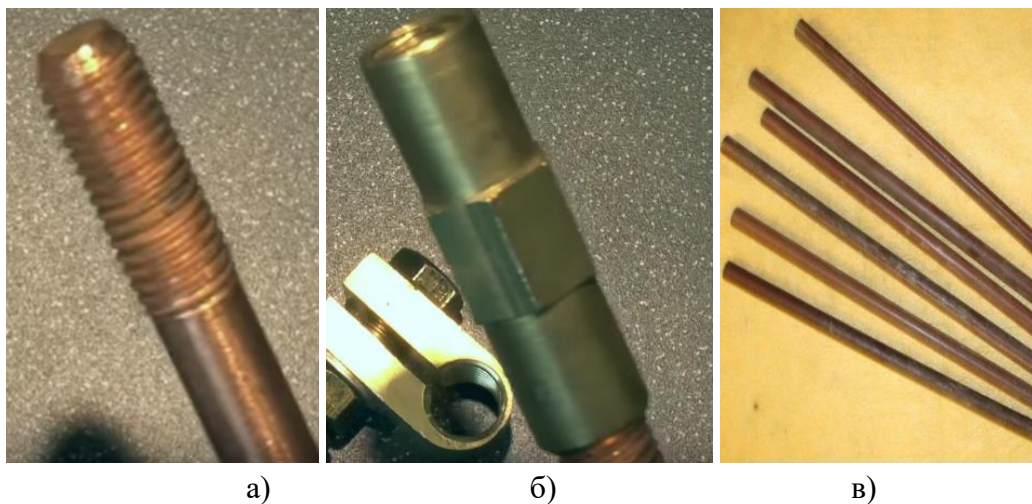


Рис. 5. Струмопровідна шина (а), сполучна муфта для кріплення електродів, закріплена на струмопровідній шині (б), елементи діелектричних шин (в)

Таблиця 5.

Основні характеристики СПП-ЕІ Т-155 (склопластику профільного електроізолюючого)

Найменування характеристики	Значення
Густина склопластика, кг/м ³	1900-2100
Руйнуюче напруження при розтягуванні, МПа, не менше	800
Питомий поверхневий електричний опір у вихідному стані, Ом, не менше	$1 \cdot 10^{12}$
Стійкість до нагріву, °С, протягом 24 год	200±2

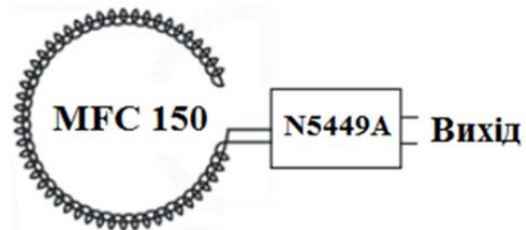
Таблиця 6.

Конструкційні характеристики електровибухаючих провідників, що виконують функцію швидкодіючих комутаторів

Довжина ЕВП, м	Радіус ЕВП, м
0,007	$0,06 \cdot 10^{-3}$
0,02	$0,06 \cdot 10^{-3}$
0,04	$0,06 \cdot 10^{-3}$
0,06	$0,06 \cdot 10^{-3}$
0,08	$0,06 \cdot 10^{-3}$



а)



б)

Рис. 6. Гнучкий струмовий перетворювач MFC 150 (пояс Роговського)
а – фотографія; б – схема підключення

Для реєстрації струмів, що протікають через ЕВП, навколо муфти електрода розміщувався гнучкий струмовий перетворювач MFC 150 (див. рис. 1, б), що функціонує на основі принципу Роговського й призначений для вимірювання змінного струму в діапазоні від міліампер до сотень кілоа-

мпер (див. табл. 7), у комбінації з високоімпедансним адаптером N5449A й вимірювальними приладами.

Таблиця 7.

Основні параметри MFC 150 (пояс Роговського)

Довжина, м	0,35
Вага, г	90
Частотний діапазон, Гц	$8 - 1,5 \cdot 10^9$
Максимальна вхідна напруга, В	$30 \cdot 10^6$
Максимальний вимірюваний струм, А	$250 \cdot 10^3$
Точність вимірів при температурі 23 °С	$\pm 2\%$

На виході токового перетворювача формується низьковольтний сигнал, завдяки чому вихідна обмотка не представляє небезпеки. На відміну від трансформатора струму, MFC 150 не має магнітного сердечника, що забезпечує йому широку частотну характеристику (див. табл. 7).

Для реєстрації результатів вимірювань часових характеристик на різних етапах електричного вибуху застосовувався цифровий запам'ятовуючий осцилограф MSO6012A, який характеризується високою надійністю, точністю показань, широкою смугою пропускання, високою частотою дискретизації та забезпечує одночасний збір даних за двома каналами (див. табл. 8).

Таблиця 8.

Основні характеристики цифрового запам'ятовуючого осцилографа MSO6012A

Смуга пропускання (на рівні -3 ДБ), Гц	від 0 до 10^9
Час наростання перехідної характеристики (0,35/смуги пропускання), с	$350 \cdot 10^{-12}$
Число аналогових каналів	2
Максимальна вхідна напруга, В	500 (пікове значення)
Частота дискретизації, Гц	$4 \cdot 10^9$
Похибка вимірювань	$\mp 2\%$

Результати вимірювань відображалися осцилографом MSO6012A у вигляді графіків, які зберігалися на зовнішньому носії інформації.

Експериментальні дослідження часових характеристик (див. рис. 1) проводилися шляхом застосування механізму швидкого електричного вибу-

ху до провідників, які мають різні температурні плавлення й конструктивні параметри (див. табл. 3, 4, 6).

Осцилограми іскрового розряду, який формується високовольтним генератором NSG 3060 в атмосфері (між вістрями електродів) представлено на рис. 7.

Зміна струму при іскровому розряді в атмосфері між голчастими електродами носить коливальний характер (див. рис. 7а). Це, перш за все, пов'язано з тим, що загасання $\Delta = \frac{R_n}{2L_{\text{конт}}}$ еквівалентного контуру розрядного ланцюга генератора досить мале, щоб забезпечити повільний спад амплітуди коливань струму.

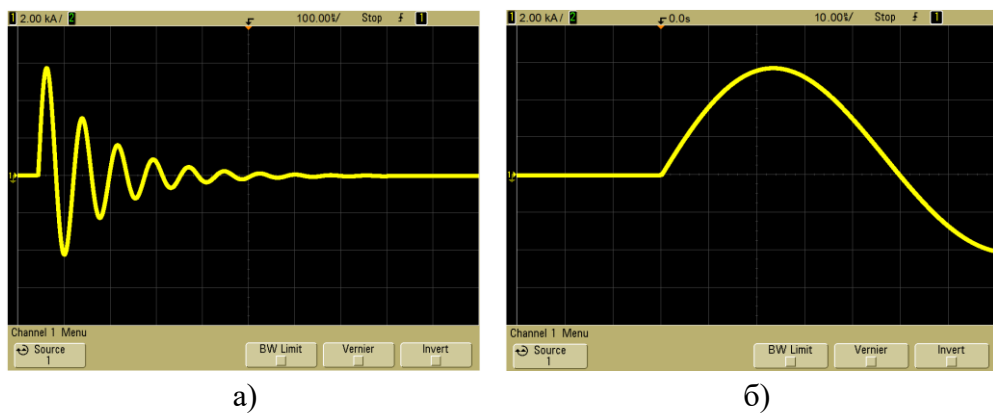


Рис. 7. Осцилограми іскрового розряду, який формується генератором NSG 3060 між вістрями електродів: а) вертикальна розгортка 2 кА / поділ, горизонтальна - 100 мкс / поділ; б) вертикальна розгортка 2 кА / поділ, горизонтальна - 10 мкс / поділ

Однак, згідно з результатами теоретичних досліджень, проведених у роботі [12], при включенні між електродами ЕВП, механізм швидкого електричного вибуху буде реалізовуватися саме на часовому етапі першого півперіоду коливань струму генератора (див. рис. 7б).

На рис. 8 представлені осцилограми електричного вибуху металевих провідників, які мають різні температури плавлення й однакові конструктивні параметри. Згідно з отриманими експериментальними залежностями, можна зробити висновок, що тривалість фронту імпульсу загострення при

постійних конструктивних параметрах ЕВП буде приймати різне значення ($\approx 19 \cdot 10^{-9}$ с для свинця, $\text{ЕВП} \approx 17 \cdot 10^{-8}$ с для алюмінію, $\text{ЕВП} \approx 97 \cdot 10^{-8}$ с для міді та $\text{ЕВП} \approx 18 \cdot 10^{-7}$ с для вольфраму). Це пояснюється різною температурою плавлення матеріалів ЕВП (див. табл. 2), оскільки фронт імпульсу буде формуватися на першому етапі електричного вибуху, для якого характерний перехід металу з твердої фази в рідку.

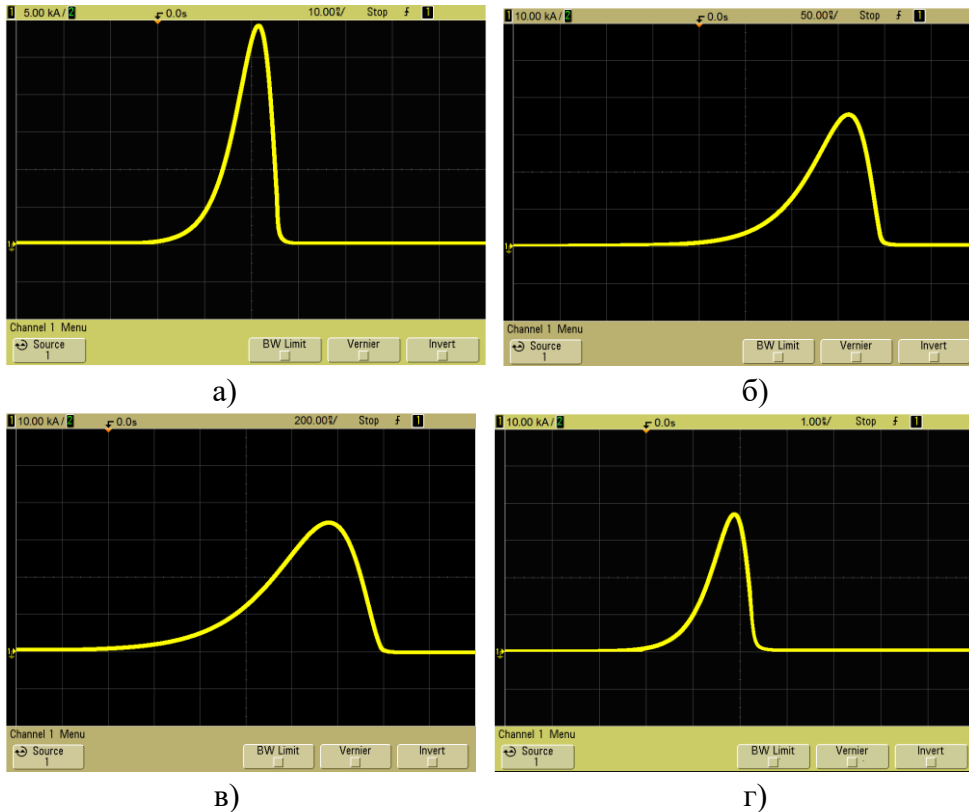


Рис. 8. Осцилограми електричного вибуху провідників довжиною 0,3 м і радіусом $0,1 \cdot 10^{-3}$ м: а) свинцевий провідник (вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 10 нс/поділ); б) алюмінієвий провідник (вертикальна розгортка 10 кА/поділ, горизонтальна – 50 нс/поділ); в) мідний провідник (вертикальна розгортка 10 кА/поділ, горизонтальна – 2000 нс/поділ); г) вольфрамовий провідник (вертикальна розгортка 10 кА/поділ, горизонтальна – 1 мкс/поділ)

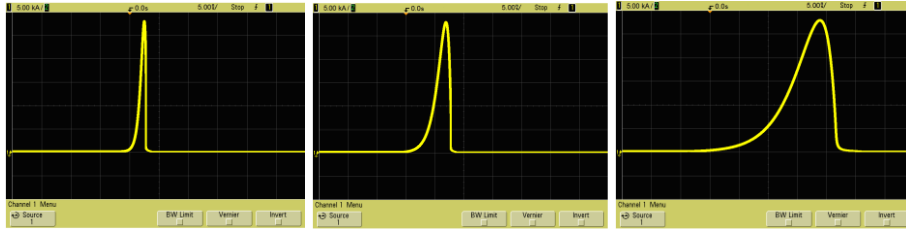
Тривалість спаду імпульсного впливу при незмінних конструктивних параметрах провідника також буде приймати різне значення ($\approx 2,6 \cdot 10^{-9}$ с для свинцю, $\approx 2,4 \cdot 10^{-8}$ с для алюмінію, $\approx 23 \cdot 10^{-8}$ с для міді та $\approx 0,72 \cdot 10^{-6}$ с для вольфраму). Це, перш за все, пояснюється різною енергією сублимації матеріалів ЕВП (див. табл. 2), при якій утворюється дрібнодисперсна маса, що викликає втрату провідності.

Отримані експериментальні дані зміни тривалості фронту одиночного імпульсу добре узгоджуються з результатами теоретичних досліджень першого етапу електричного вибуху, які представлені в роботах [11, 12], оскільки амплітудні і часові характеристики впливів, що формуються NSG 3060 та вибухомагнітним генератором зі згаданих вище робіт [11, 12], дуже близькі.

При побудові системи перемикаючих елементів необхідно враховувати, що час спрацьовування кожного комутатора визначається тривалістю двох процесів. Перший пов'язаний безпосередньо з електричним вибухом легкоплавкого провідника, а другий визначається паузою струму, що виникає до електричного пробою продуктів детонації легкоплавкого провідника [11-13].

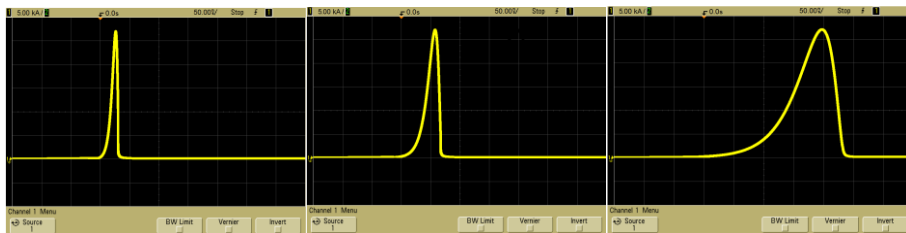
Таким чином, при послідовному з'єднанні двох ЕВП (легкоплавкого і тугоплавкого), можна досягти ефекту, коли електричний вибух буде відбуватися тільки у провіднику, що має меншу температуру плавлення ($T_{пл}$) та енергію сублимації (W_L^*). При цьому, у провідниках з високими значеннями $T_{пл}$ та W_L^* електричний вибух не буде відбуватися, оскільки нагрівання і перетворення легкоплавкого ЕВП в дрібнодисперсну масу відбудеться набагато швидше (див. рис. 8 а, б, в), ніж тугоплавкий елемент перейде з твердої фази в рідку (див. рис. 8 г).

На рис. 9-12 наведено осцилограми електричного вибуху провідників, що мають різні температури плавлення і площі перетину, але однакову довжину (див. таб. 3).



а) б) в)

Рис. 9. Осцилограми електричного вибуху свинцевих провідників однакової довжини (0,3 м) і різних радіусів: а) радіус - $0,06 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 5 нс/поділ); б) радіус - $0,08 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 5 нс/поділ); в) радіус - $0,1 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 5 нс/поділ)

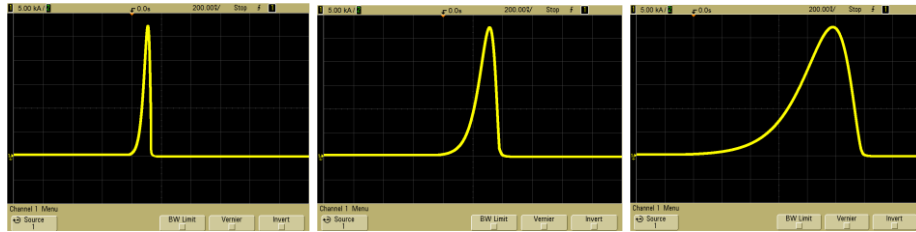


а) б) в)

Рис. 10. Осцилограми електричного вибуху алюмінієвих провідників однакової довжини (0,3 м) і різних радіусів: а) радіус - $0,06 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 50 нс/ поділ); б) радіус - $0,08 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 50 нс/ поділ); в) радіус - $0,1 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 50 нс/ поділ)

Згідно з отриманими експериментальними даними, можна зробити висновки, що при застосуванні механізму швидкого електричного вибуху до легкоплавких провідників, які мають різні радіуси перетину (від $0,06 \cdot 10^{-3}$ до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м), можливо варіювати тривалість фронту сформованого імпульсу загострення наступним чином:

- для свинцевих ЕВП від $\approx 2,1 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 18 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 9);
- для алюмінієвих ЕВП від $\approx 19 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 170 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 10);
- для мідних ЕВП від $\approx 87 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 97 \cdot 10^{-8}$ с (див. рис. 11).



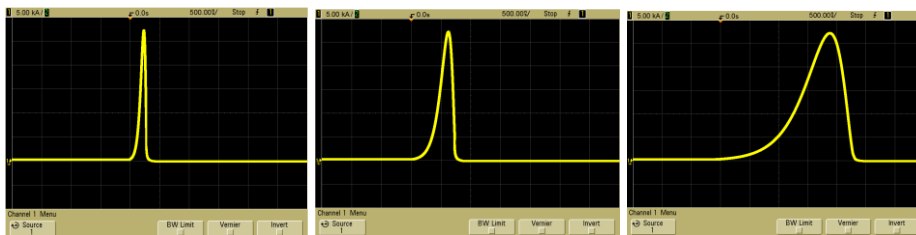
а)

б)

в)

Рис. 11. Осцилограми електричного вибуху мідних провідників однакової довжини (0,3 м) і різних радіусів: а) радіус - $0,06 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 200 нс/ поділ); б) радіус - $0,08 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 200 нс/ поділ); в) радіус - $0,1 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 200 нс/ поділ)

У випадку з тугоплавкими (вольфрамовими) провідниками зміна радіусу поперечного перерізу призводить до зміни тривалості фронту від $\approx 138 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 180 \cdot 10^{-8}$ с (див. рис. 12).



а)

б)

в)

Рис. 12. Осцилограми електричного вибуху вольфрамових провідників однакової довжини (0,3 м) і різних радіусів: а) радіус - $0,06 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 500 нс/поділ); б) радіус - $0,08 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 500 нс/поділ); в) радіус - $0,1 \cdot 10^{-3}$ м (вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна - 500 нс/поділ)

Для формування послідовності перемикачів необхідно, щоб електричний вибух легкоплавких провідників, які використовуються в якості комутаторів, відбувався набагато раніше, ніж тугоплавкі ЕВП перейдуть з твердої фази в рідку. Досягти цього ефекту можна двома шляхами. Перший пов'язаний зі зменшенням тривалості електричного вибуху легкоплавких ЕВП, яка в основному визначається часом нагріву провідника. Другий пов'язаний зі збільшен-

ням часу нагріву тугоплавкого провідника. Технічна реалізація обох варіантів можлива шляхом зміни площі перетину ЕВП.

Таким чином, при послідовному з'єднанні провідників з різною температурою плавлення, необхідно вибирати найменшу площу перетину легкоплавких ЕВП, які формують процес комутації тугоплавких елементів.

На рис. 13-16 представлені осцилограми електричного вибуху провідників, що мають різну довжину й температуру плавлення, але однакову площу перетину (див. табл. 4).

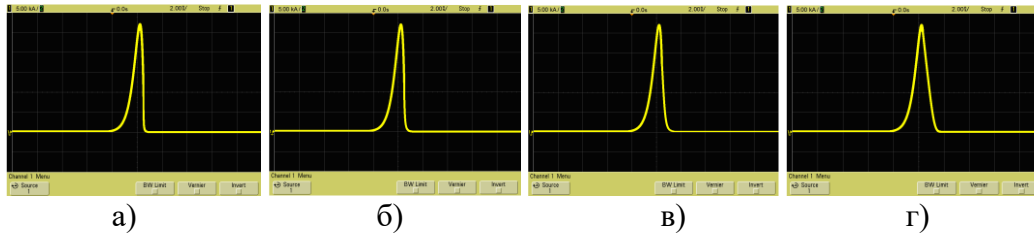


Рис. 13. Осцилограми електричного вибуху свинцевих провідників однакового радіусу ($0,06 \cdot 10^{-3}$) та різної довжини: а) довжина - 0,05 м; б) довжина - 0,1 м; в) довжина - 0,3 м; г) довжина - 0,5 м. Вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 2 нс/поділ

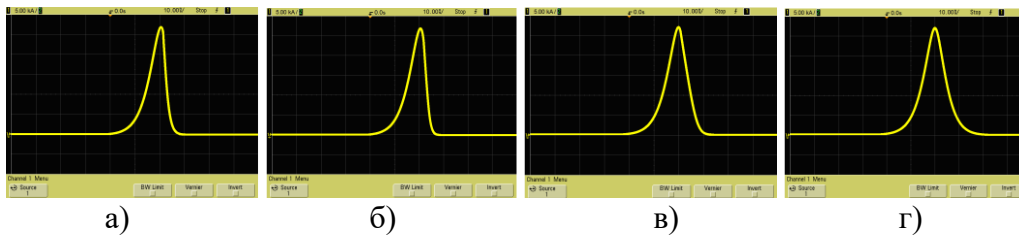


Рис. 14. Осцилограми електричного вибуху алюмінієвих провідників однакового радіусу ($0,06 \cdot 10^{-3}$) та різної довжини: а) довжина - 0,05 м; б) довжина - 0,1 м; в) довжина - 0,3 м; г) довжина - 0,5 м. Вертикальна розгортка 5 кА/поділ, горизонтальна – 10 нс/поділ

Аналізуючи експериментальні залежності, представлені на рис. 13-16, необхідно зауважити, що довжина ЕВП буде чинити істотний вплив тільки на другому етапі електричного вибуху (тривалість спаду кожного імпульсу). При застосуванні механізму швидкого електричного вибуху до провідників, які мають різну довжину (від 0,05 до 0,5 м) можливо варіювати тривалість спаду формуємого впливу в наступних межах:

- для свинцевих ЕВП від $\approx 0,5 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 1,8 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 13);
- для алюмінієвих ЕВП від $\approx 5 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 16 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 14);
- для мідних ЕВП від $\approx 19 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 57 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 15);
- для вольфрамових ЕВП від $\approx 30 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 200 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 16).

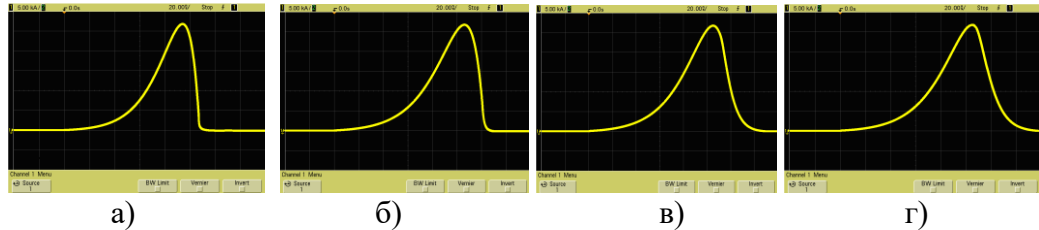


Рис. 15. Осцилограми електричного вибуху мідних провідників однакового радіусу ($0,06 \cdot 10^{-3}$) та різної довжини: а) довжина - 0,05 м; б) довжина - 0,1 м; в) довжина - 0,3 м; г) довжина - 0,5 м. Вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 20 нс/ поділ

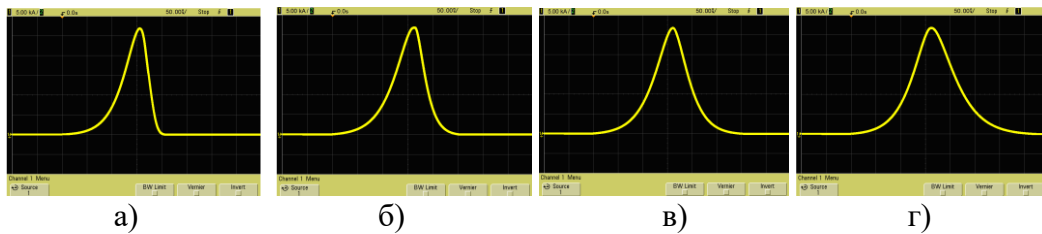


Рис. 16. Осцилограми електричного вибуху вольфрамових провідників однакового радіусу ($0,06 \cdot 10^{-3}$) та різної довжини: а) довжина - 0,05 м; б) довжина - 0,1 м; в) довжина - 0,3 м; г) довжина - 0,5 м. Вертикальна розгортка 5 кА/ поділ, горизонтальна – 50 нс/ поділ

Крім того, процес електричного вибуху всіх типів провідників залишив відповідні характерні сліди і пошкодження на розрядних електродах (див. рис. 17). Такого плану сліди та пошкодження утворюються під час вибуху, коли матеріал тонких провідників, що вибухнув, набуває властивостей газу з високою щільністю (тиск продуктів електричного вибуху $\approx 34 \cdot 10^3$ Атм) і температурою $\approx 10^4$ К [7]. Досить високі щільності струму, викликають розплавлення, часткове випаровування та іонізацію речовини провідника (утворення продуктів детонації). Дані продукти електричного вибуху мають циліндричну форму (див. рис. 17), яка швидко розширюється, гене-

руючи ударну хвилю, швидкість руху фронту якої підпорядковується параболічному закону подібно до моделі сильного вибуху [7, 8].

Для легкоплавких (свинцевих) ЕВП характерна висока щільність металевого іонізованого золю на початкових етапах електричного вибуху, що призводить до утворення безлічі локальних пробоїв практично по всій поверхні електрода (див. рис. 17а). Розрив ланцюга відбувається тільки при достатньо великому розширенні продуктів детонації (розміри циліндричної області перевищують розміри розрядного електрода), що супроводжується зменшенням тиску й щільності іонізованого золю (див. рис. 17а).

Для тугоплавких (вольфрамових) ЕВП характерне незначне розширення продуктів детонації, великі розміри частинок металевого золю і газонаповнених проміжків, що виключає можливість формування електричних пробоїв на поверхні електрода (див. рис. 17б). Область осадження частинок вольфрамового золю, що утворюються в ході електричного вибуху, характеризується двома найбільш інтенсивними концентричними слідами. Перший слід характеризує початок утворення металевого золю з провідника (рис. 17б). Другий – максимальне розширення продуктів детонації (рис. 17б) і повну втрату провідності розрядного проміжку.



Рис. 17. Зовнішній вигляд розрядних електродів після електричного вибуху свинцевого (а) і вольфрамового (б) провідників

Для проведення експериментальних досліджень швидкодіючих комутуючих елементів, що здатні забезпечити послідовне перемикання на навантаження імпульсних струмів високої щільності, до генератора підключалася комплексна структура, здатна послідовно комутувати в ланцюг генератора

тугоплавкі ЕВП (див. рис. 1 і 4). Відстань між провідниками (легкоплавкими і тугоплавкими) ($\geq 0,3\text{ м}$) вибиралася виходячи з умови відсутності пошкоджень сусідніх ЕВП ударною хвилею під час електричного вибуху [14].

При роботі даної структури, тривалість фронту кожного імпульсу, переданого на навантаження електропідривними комутаторами, буде визначатися площею перетину вольфрамових ЕВП (радіус провідників $\approx 0,06 \cdot 10^{-3}$) і, відповідно до результатів, отриманих на першому етапі експерименту, не буде перевищувати $138 \cdot 10^{-9}$ с (див. рис. 12 і 16). Період повторення комутації тугоплавких ЕВП в ланцюг генератора буде визначитися тривалістю електричного вибуху вольфрамового провідника (див. рис. 16) довжиною $0,1\text{ м}$ ($\tau_i \approx 168 \cdot 10^{-9}$) і паузою струму ($\tau_{ПС} \approx 90 \cdot 10^{-9}$) свинцевого (комутуючого) провідника, який має мінімально можливу довжину ($7 \cdot 10^{-3}$ м), при якій відбувається повний розрив ланцюга [8].

З огляду на конструкцію й розміщення легкоплавких і тугоплавких провідників в обраній структурі, запишемо вираз для часу спрацьовування (вторинного пробую) N-го комутатора:

$$t_{СП_N} = N \cdot t_{ПС_1} + (N - 1) \cdot \tau_i, \quad (1)$$

де

$t_{ПС_1}$ - тривалість паузи струму першого (найменшого) ЕВП комутатора (свинцевого провідника);

τ_i - тривалість імпульсу, який формується при електричному вибуху тугоплавкого провідника.

На рис. 18 і 19 наведена осцилограма й пояснювальний рисунок, що характеризують послідовну швидкодіючу комутацію п'яти вольфрамових провідників в ланцюг високовольтного генератора.

Процес комутації вольфрамових провідників, починається з електричного вибуху легкоплавких (свинцевих) провідників (див. рис. 13), який викликає розрив всього ланцюга, який підключається до високовольтного генератора (див. рис. 18 і 19).

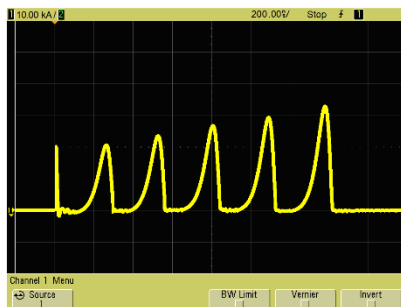


Рис. 18. Осцилограма послідовності послідовного підключення та електричного вибуху п'яти вольфрамових провідників однакової довжини і площі перетину (вертикальна розгортка 10 кА/поділ, горизонтальна - 200 нс/поділ)

Оскільки в обраній структурі всі легкоплавкі провідники мали однако-ву площу перетину, а довжини їх різнилися незначно ($l_1 = 0,007$ м, $l_2 = 0,02$ м, $l_3 = 0,04$ м, $l_4 = 0,06$ м, $l_5 = 0,08$ м), їх електричний вибух відбу-вався практично одночасно (див. рис. 18 і 19).

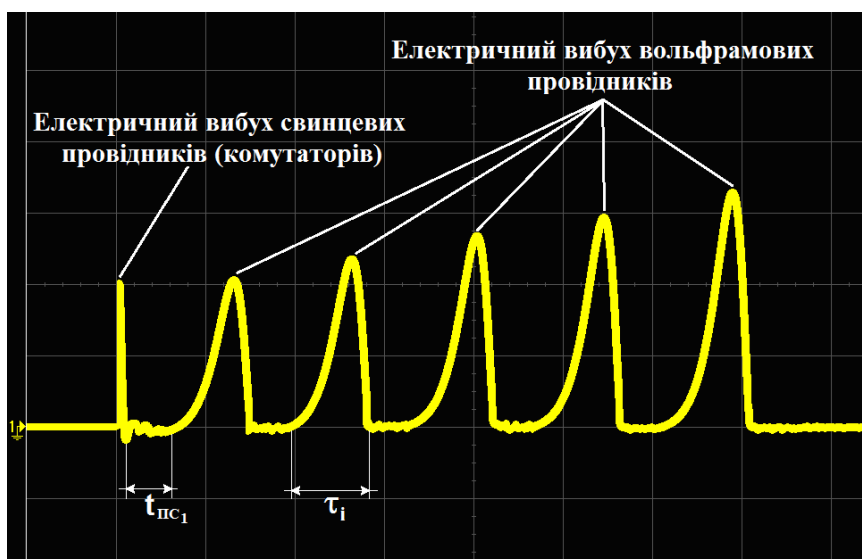


Рис. 19. До визначення особливостей послідовної комутації

Розширення продуктів детонації електричного вибуху кожного з п'яти свинцевих провідників призвело до утворення паузи струму (див. рис. 18 і 19). Час, за який тиск продуктів детонації кожного зі свинцевих провідників

знизиться до критичного значення, буде визначати початок вторинного пробою (закінчення паузи струму) і, відповідно, послідовну комутацію кожного вольфрамового ЕВП в структурі.

Мінімальне значення паузи струму ($t_{лс1}$) виникає після електричного вибуху найменшого свинцевого провідника (див. рис. 18). Вторинний пробій продуктів детонації першого (найменшого) свинцевого ЕВП призведе до включення в ланцюг генератора наступного за ним вольфрамового провідника (див. рис. 4, 16, 18). Струм генератора, що протікає через підключений вольфрамовий провідник, призведе до його швидкого електричному вибуху, формуючи перший імпульс, який передається на навантаження (див. рис. 18 і 19). Тривалість сформованого імпульсу (τ_i) буде визначатися конструктивними параметрами вольфрамового провідника (площею перетину і довжиною). Оскільки в обраній структурі (див. рис. 4) вольфрамові провідники мали однакові довжини і площі перетину, всі сформовані імпульси в послідовності мають однакову тривалість ($\tau_i \approx 168 \cdot 10^{-9} \text{ с}$).

По закінченню електричного руйнування вольфрамового провідника, ланцюг генератора знову розривається до початку вторинного пробою продуктів детонації наступного за довжиною свинцевого провідника, комутуючи для вибуху другий тугоплавкий провідник і так далі (див. рис. 19).

Висновки. В результаті проведення експериментальних досліджень була практично підтверджена можливість створення швидкодіючих комутуючих елементів, здатних забезпечити послідовне перемикання імпульсних струмів високої щільності ($j \approx 10^7 \text{ А/см}^2$).

На першому етапі експерименту були отримані різні значення загострення (зміни тривалості фронту і спаду) імпульсних сигналів, що подаються з генератора. Для цього випадку електричний вибух застосовувався до одиночних провідників, з різною температурою плавлення, площею перетину й довжиною.

Вибір різних температурних і конструктивних параметрів ЕВП дозволив зробити висновок, що при застосуванні механізму швидкого електричного вибуху до провідників, які мають різні радіуси перетину (від $0,06 \cdot 10^{-3}$ до $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$), можливо варіювати тривалість фронту сформованого імпульсу загострення від $\approx 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ до $\approx 180 \cdot 10^{-8} \text{ с}$.

Вибір значення тривалості спаду імпульсного впливу буде визначатися, в основному, різною енергією сублимації матеріалів ЕВП і може варіюватися в діапазоні від $\approx 2,6 \cdot 10^{-9}$ с до $\approx 0,72 \cdot 10^{-6}$ с.

Експериментальне визначення значень загострення електричним вибухом провідників імпульсних сигналів, що подаються з генератора, дозволило синтезувати комплексну структуру швидкодіючих комутуючих елементів. До складу структури були включені свинцеві ЕВП, що виконують роль комутаторів і вольфрамові провідники, електричний вибух яких загострював імпульсну напругу, що подається з генератора.

Електричний вибух легкоплавких провідників і подальший пробій його продуктів детонації дозволив сформувати послідовний порядок підключення вольфрамових провідників в ланцюг генератора, пов'язаний з первинною довжиною свинцевого провідника.

Отримані експериментальні результати добре узгоджуються з теоретичними, що представлені в роботі [12]. Отримані в ході експерименту залежності часу спрацювання комутаторів від первинної довжини свинцевих ЕВП (для довжини 0,007 м - $t_{СП1} \approx 90 \cdot 10^{-9}$ с; для 0,02 м - $t_{СП2} \approx 352 \cdot 10^{-9}$ с; для 0,04 м - $t_{СП3} \approx 610 \cdot 10^{-9}$ с; для 0,06 м - $t_{СП4} \approx 868 \cdot 10^{-9}$ с; для 0,08 м - $t_{СП5} \approx 1125 \cdot 10^{-9}$ с), розходяться з теоретичними не більш, ніж на 12%.

Список використаних джерел:

1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / Под ред. В.И. Кравченко. М.: Радио и связь, 1987. 256 с.
2. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие. Х.: НТУ «ХПИ», 2008. 185 с.
3. Лебедев С.В., Савватимский А. И. Металлы в процессе быстрого нагревания электрическим током большой плотности. Успехи физических наук. Т. 144, Вып. 2. 1984. С. 215-250. doi:10.3367/UFNr.0144.198410b.0215
4. Бурцев В.А., Калинин И.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энерго-атомиздат, 1990. 342 с.
5. Иваненков Г.В., Пикуз С.А., Шелковенко Т.А. и др. Обзор литературы по моделированию процессов электрического взрыва тонких проволок (часть 1). М.: ФИАН, 2004. 26 с.
6. Ткаченко С.И., Мингалева А.Р., Романова В.М. и др. Возможные

сценарии развития вторичного пробоя при электрическом взрыве проводников в вакууме и воздухе. Материалы Научно-коорд. сессии «Исследования неидеальной плазмы» под рук. академика В.Е. Фортова. М.: ОИВТ РАН, 2007. С. 46-52.

7. Пикуз С.А., Ткаченко Д.А., Барিশпольцев Д.А. и др. Интерпретация экспериментальных данных по электрическому взрыву тонких проволочек в воздухе. Письма в ЖТФ. 2007. Том 33, вып. 15. С. 47-55.

8. Кучер Д.Б., Литвиненко Л.В., Зонтова Т.В. Экспериментальные исследования паузы тока, возникающей после быстрого электрического взрыва легкоплавких проводников. Системи обробки інформації: Збірник наукових праць, 2012. Вип. 6(104). С.62–65.

9. Кучер Д.Б., Литвиненко Л.В., Зонтова Т.В. Экспериментальные исследования временных характеристик одиночных импульсных воздействий, формируемых при электрическом взрыве проводников. Системи управління навігації та зв'язку: наукове періодичне видання / Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління. Київ, 2012. Вип. 2(22). С. 75–81.

10. A.E. Ter-Oganesyan, S.I. Tkachenko, V.M. Romanova, A.R. Mingaleev, T.A. Shelkovenko, and S.A. Pikuz. Nanosecond electric explosion of a tungsten wire in different media. Plasma Physics Reports, Vol. 31, No. 11, 2005, pp. 919–926. doi:10.1134/1.2131128.

11. Кучер Д.Б., Зонтова Т.В., Кучер Б.Д., Томишин Е.А. Использование явления вторичного пробоя при электрическом взрыве проводников для формирования мощных полиимпульсных излучений. Системи обробки інформації: Збірник наукових праць / Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків, 2012. Вип. 3(101). Т. 2. С.73–77.

12. Кучер Д. Б., Смиринська Н. Б. Особливості конструкції пристрою формування послідовності потужних електромагнітних випромінювань в системах обмеженого об'єму. Озброєння та військова техніка: Науково-технічний журнал / Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Київ, 2017. №2 (14). С.84-89. doi:10.34169/2414-0651.2017.2(14).84-89.

13. V.M. Romanova, A.R. Mingaleev, A.E. Ter-Oganesyan, T.A. Shelkovenko, G.V. Ivanenkov, and S.A. Pikuz. Core structure and secondary breakdown of an exploding wire in the current-pause regime. Matter and Radiation at Extremes. Vol. 4, Issue 2, March 2019, 026401. doi:10.1063/1.5085487.

14. Беннет Ф., Шир Д. Ударные волны, возбуждаемые с помощью

взрывающихся проволок при низком давлении окружающего газа/ Электрический взрыв проводников / под ред. А. А. Рухадзе. М.: Мир, 1965. С. 209-225.

References

1. Kravchenko, V.I., Bolotov, E.A., Letunova, N.I.: Radioelektronnye sredstva i moshchnye elektromagnitnye pomekhi (Radioelectronic equipment and powerful electromagnetic interference): V.I. Kravchenko (ed). Radio i svyaz, Moscow (1987).

2. Kravchenko, V.I.: Elektromagnitnoe oruzhie (Electromagnetic weapon). NTU «KhPI», Kharkiv (2008).

3. Lebedev, S.V., Savvatimskiy, A. I.: Metally v protsesse bystrogo nagrevaniya elektricheskim tokom bolshoy plotnosti (Metals during rapid heating by dense currents). Uspekhi fizicheskikh nauk. Vol. 144 (2), 215-250 (1984). doi:10.3367/UFNr.0144.198410b.0215

4. Burtsev, V.A., Kalinin, I.V., Luchinskiy, A.V.: Elektricheskii vzryv provodnikov i ego primeneniye v elektrofizicheskikh ustanovkakh (Electrical explosion of the conductors and its application in electrophysical installations). Energo-atomizdat, Moscow (1990).

5. Ivanenkov, G.V., Pikuz, S.A., Shelkovenko, T.A., Romanova, V.M., Glazyrin, I.V., Kotova, O.G. and Slesareva, A.N.: Obzor literatury po modelirovaniyu protsessov elektricheskogo vzryva tonkikh provolochek (Literature review on modeling the processes of the electric explosion of the thin wires) (Part 1). Working paper FIAN, Moscow (2004).

6. Tkachenko, S.I., Mingaleev, A.R., Romanova, V.M. et al: Vozmozhnye tsenarii razvitiya vtornichnogo proboya pri elektricheskoy vzryve provodnikov v vakuume i vozdukh (Possible scenarios for the development of secondary breakdown in the electric explosion of conductors in vacuum and air). Materialy Nauchno-kooord. sessii «Issledovaniya neidealnoy plazmy» V.E. Fortova (ed). p.p.46-52. OIVT RAN, Moscow (2007).

7. Pikuz, S.A., Tkachenko, D.A., Barishpoltsev, D.A., Ivanenkov, G.V., Mingaleev, A.R., Romanova, V.M., Ter-Oganesyan, A.E. and Shelkovenko, T.A.: Interpretatsiya eksperimentalnykh dannykh po elektricheskoy vzryvu tonkikh provolochek v vozdukh (Interpretation of experimental data on the electrical explosion of thin wires in air). JTP Letters. vol. 33 (15), p.p. 47-55 (2007).

8. Kucher, D.B., Litvinenko, L.V., Zontova, T.V.: Eksperimentalnye issledovaniya pauzy toka, vznikayushchey posle bystrogo elektricheskogo vzryva legkoplavkikh provodnikov (Experimental research of pause in current occurred after rapid electrical explosion of easily melting conductors).

Information Processing Systems. Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University (KNAFU), 6(104), 62–65 (2012).

9. Kucher, D.B., Litvinenko, L.V., Zontova, T.V.: Eksperimentalnye issledovaniya vremennykh kharakteristik odinochnykh impulsnykh vozdeystviy, formiruemykh pri elektricheskom vzryve provodnikov (Experimental studies of the temporal characteristics of single impulse influences formed during the electric explosion of conductors). *Systemy upravlinnja navighaciji ta zv'jazku: naukovе periodychnе vydannja. Centralnyj naukovо-doslidnyj instytut navighaciji ta upravlinnja.* 2(22), 75–81 (2012).

10. Ter-Oganesyan, A. E., Tkachenko, S. I., Romanova, V. M., Mingaleev, A. R., Shelkovenko, T. A. and Pikuz, S. A. Nanosecond electric explosion of a tungsten wire in different media. *Plasma Physics Reports*, 31(11), 919-926 (2005). doi:10.1134/1.2131128.

11. Kucher, D.B., Zontova, T.V., Kucher, B.D., Tomishin, E.A.: Ispolzovanie yavleniya vtorichnogo proboya pri elektricheskom vzryve provodnikov dlya formirovaniya moshchnykh poliimpulsnykh izlucheny (The phenomenon of second breakdown during the electric explosion conductors for forming powerful many pulse radiation). *Information Processing Systems.* 3(101/2), 73–77 (2012).

12. Kucher, D. B., Smyrynska, N. B.: Osoblyvosti konstrukciji prystroju formuvannja poslidoynosti potuzhnykh elektromaghnitnykh vyprominjuvanj v systemakh obmezhenogho ob'jemu (Features of construction of device for forming the sequence of powerful electromagnetic radiation in systems of limited volume). *Weapons and military equipment: Naukovо-tekhnichnyj zhurnal. Central research institute of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine.* 14(2), 84-89 (2017). doi:10.34169/2414-0651.2017.2(14).84-89.

13. Romanova, V.M., Mingaleev, A.R., Ter-Oganesyan, A.E., Shelkovenko, T.A., Ivanenkov, G.V. and Pikuz, S.A.: Core structure and secondary breakdown of an exploding wire in the current-pause regime *Matter and Radiation at Extremes.* 4 (2), 026401 (2019). doi:10.1063/1.5085487.

14. Bennet, F., Shir, D.: Udarnye volny, vzbuzhdaemye s pomoshchyu vzryvayushchikhsya provolochek pri nizkom davlenii okruzhayushchego gaza (Strike waves generated by exploding wires at low ambient gas pressures). In: Rukhadze, A. A. (ed) *Elektricheskiy vzryv provodnikov*, 209-225. Mir, Moscow (1965).

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.2>

УДК 656.025.4

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

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

Є. В. Маленко, старший викладач кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

А. А. Зборщенко, студент Університету митної справи та фінансів

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МІСЬКИХ І МІЖМІСЬКИХ МАРШРУТАХ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Стаття присвячена аналізу стану пасажирських перевезень на основі існуючої транспортної мережі для міст Дніпропетровської області, визначенню моделей та методів розрахунку матриці кореспонденцій пасажирського транспорту. Задача маршрутизації вирішена за умов відповідності вихідної величини трудової ємності районів, отриманої у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю для двох сформованих транспортних мереж області. Даний підхід може бути корисним при з'ясуванні ваги окремих населених пунктів регіону при проектуванні дорожньо-транспортної інфраструктури, ремонті доріг та планування маршрутного з'єднання між містами та селами.

Ключові слова: матриця пасажирських кореспонденцій; маршрутизація пасажирських перевезень.

Статья посвящена анализу состояния пассажирских перевозок на основе существующей транспортной сети городов Днепропетровской области, определению моделей и методов расчета матрицы соответствия пассажирских перевозок. Задача маршрутизации решается в условиях соответствия первоначальной величины трудовой возможности районов, полученной в результате распределения корреспонденции по гравитационной

© І. Ю. Леснікова, Н. В.Халіпова, Є. В.Маленко, А. А. Зборщенко, 2020

модели для двух сформированных транспортных сетей региона. Такой подход может быть полезен для того, чтобы выяснить значимость некоторых населенных пунктов региона при проектировании дорожно-транспортной инфраструктуры, ремонте дорог и планировании маршрутного сообщения между городами и селами.

Ключевые слова: матрица пассажирских корреспонденций; моделирование пассажирских перевозок.

The article is devoted to the analysis of the state of passenger transportation on the basis of the existing transport network for cities in the Dnipropetrovsk region, the definition of models and methods for calculating the matrix of passenger transport correspondence. The problem of calculations of the correspondence matrix for two formed city and intercity transport networks of the Dnepropetrovsk region is solved. Based on the obtained results, possible models for passenger transport routes within the region are proposed.

The relevance of the approaches presented in this article is to substantiate the parameters of transportation on urban and interurban routes of Dnipropetrovsk region, which is one of the largest industrial, economic, cultural and historical centers of the country and has a high population density - 100 people / km².

Currently, with the increase of the population of megapolises, obviously, the load on their transport systems is growing. In each of them, a fundamentally important task is to monitor and regulate traffic flows, i.e. movements within this system. Mathematically, the movement of passengers within the transport system is described by a matrix of correspondence.

The article calculates two matrices of passenger correspondence by gravity method according to the input data. The first - the cities of Dnipropetrovsk region with the largest population, the second - the settlements of Dnipropetrovsk region, which are located around the city of Dnipro and have a small population. The analysis of the results showed that the number of moving working population, is directly proportional to the total population of the city, village, their area and regional significance. The more developed industry, economy, science, culture, the greater the population moves between important cities for the region. The largest settlements of the Dnipropetrovsk region, between which there is a transport connection are the Dnipro, Kryvyi Rih, Kamianske, Nikopol and Pavlohrad; the smallest - Spaske, Loboykivka, Chaplynka.

The routing problem is solved under the conditions of correspondence of the initial value of the labor capacity of the districts and the labor capacity obtained as a result of the distribution of correspondence according to the gravitational model. This approach can be useful in determining the weight of individual

settlements of the region when designing road and traffic infrastructure, repairing roads and planning a route connection between cities and villages.

The results of the study are of scientific and practical significance, because they can be used in the design and improvement of transport infrastructure of Dnipropetrovsk region, certain categories of roads in the planning of bus and rail services between cities and villages. Substantiated parameters of urban and interurban passenger traffic make it possible to determine the time of transportation, the number of bus trips and the required number of buses and their dimensions per day. It is desirable to establish the end points of the routes between the largest cities, because this is the connection with the largest number of displaced people. However, the location of small settlements should be considered to meet the transport needs of the entire population of Dnipropetrovsk region with minimal costs and maximum profits.

Keywords: matrix of passenger correspondence; modeling of passenger transportation routes.

Постановка проблеми. Основною задачею міжміських та міських пасажирських перевезень є забезпечення транспортом населення, удосконалення перевізного процесу, та покращення якості обслуговування пасажирів [1]. В різних регіонах України існують проблеми у системі пасажирського транспорту, пов'язані із утворенням заторів, незадовільним станом доріг, підвищенням ціни за проїзд, зменшенням безпеки руху та якості надання послуг та ін. [2]. Недостатньо ефективного функціонування транспортно-дорожнього комплексу, низькі темпи впровадження ресурсозберігаючих технологій перешкоджають нормальному функціонуванню міст та їх подальшому розвитку.

Актуальність викладених в даній статті підходів полягає в обґрунтуванні параметрів перевезень на міських і міжміських маршрутах Дніпропетровської області, яка є одним з найбільших промислових, економічних, культурних та історичних центрів країни, та має велику щільність населення – близько 100 осіб/км².

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З розвитком урбанізації, розширенням економіки та зміною кількості населення міст питання аналізу, класифікації та розрахунків пасажирських потоків стає все більш актуальним. Визначення характеристик пересувань населення, як одних з ключових показників для розвитку міських територій, є предметом багатьох дос-

ліджень, що проводилися у вітчизняній і закордонній практиці транспортно-го планування. Основним джерелом даних для створення моделі наближеною до реальності є матриця кореспонденцій [3].

Проблему розподілу пасажирських переміщень по вулично-дорожній мережі міста досліджували низка вчених, серед яких Грановський Б.І., Горбачов П.Ф., Гецович Є.М., Любий Є.В., Гончаренко С.Ю., Ю. Шеффі, Н. Оппенхайм, Ж. Ортузар та ін. [4-8].

Відповідно до традиційного підходу, процес транспортного планування системи пасажирських перевезень складається з чотирьох етапів: генерування пересувань (trip generation) – оцінка загальних обсягів прибуття та відправлення з кожної транспортної зони території планування; кореспонденції пересувань (trip correspondence) – отримання матриць кореспонденцій, які визначають обсяги пересувань між кожною парою зон, що досліджуються; розподіл кореспонденцій за типом пересування (modal split); розподіл кореспонденцій за шляхом пересувань (network assignment) [9].

Пасажиропотоки мешканців міста за маршрутами громадського транспорту з використанням масивів даних операторів стільникового зв'язку про транзакції абонентів досліджено в [10]. Дані, що використовуються для формування матриці кореспонденцій, відображають пересування населення (пасажиропотоки).

Підхід до побудови матриць кореспонденцій в системі міського пасажирського транспорту, заснований на використанні інфрачервоних лічильників пасажиропотоку та інтеграції із системою GPS, запропоновано в [11].

Мета статті. Метою статті є обґрунтування параметрів пасажирських перевезень міжміськими сполученнями в регіоні, на прикладі Дніпропетровської області, із застосуванням гравітаційного методу при складанні матриці кореспонденцій на основі існуючої транспортної мережі.

Для цього в статті вирішено наступні задачі:

1. Розробити багатокроковий алгоритм маршрутизації пасажирських перевезень в регіоні із застосуванням гравітаційного методу, визначенням ємностей мегарайонів на основі аналізу інформації з доступних джерел.

2. Провести моделювання пасажирських перевезень для міст в Дніпропетровській області для існуючої транспортної мережі.

Виклад основного матеріалу. Матриця транспортних кореспонденцій

відображає попит в транспортній системі та є необхідною частиною моделювання транспортних мереж. Для вирішення задачі розробки міжміських перевезень пасажирів Дніпропетровської області був застосований гравітаційний алгоритм пошуку матриці пасажирських кореспонденцій [12]. Матриця кореспонденції представляє кількісну характеристику пересувань у межах території планування, елементами якої є обсяги пересувань (автомобілів чи пасажирів за годину, наприклад) між кожною парою умовних транспортних зон. Щоб створити матрицю кореспонденцій у мережі, наближену до реальності, необхідно розбити територію планування на транспортні райони [3, 4], умовно поділяючи на окремі групи – за цілями пересувань, за вибором типу та маршруту пересування, тощо [9]. Для кожної із цих груп пересувань будується окрема матриця міжзональних кореспонденцій, вхідною інформацією для побудови якої є загальні обсяги прибуття і відправлення у кожній зоні [10].

Одним із найскладніших завдань при визначенні характеристик транспортних потоків є саме отримання матриці кореспонденцій. Для створення графічної моделі здійснено укрупнене районування в спосіб, запропонований в [13], з визначенням ємностей мегарайонів та відстаней між їх центрами на основі аналізу наявної інформації відкритих джерел [14–18].

Запропонований алгоритм розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій із використанням гравітаційного методу наведено на рис. 1 і 2. Прийняті в блок-схемі позначення (рис. 1 і 2):

l_{ij} – довжина найкоротшого шляху між i -м та j -м районами, км;

V – швидкість руху транспортного засобу, км/год;

N_p – кількість мешканців району, тис. чол.;

H_j – трудова ємність району, тис. чол.;

N_m – чисельність населення міста, тис. чол.;

N – кількість робочих місць у районі, тис. чол.;

κ_j – коефіцієнт балансування.

Алгоритм містить такі етапи:

Етап I. Формування вихідних даних для вирішення задачі – отримання інформації з доступних джерел та аналіз її особою, що приймає рішення (ОПР). Після перевірки на релевантність формується внутрішня база даних (блоки 1-5).

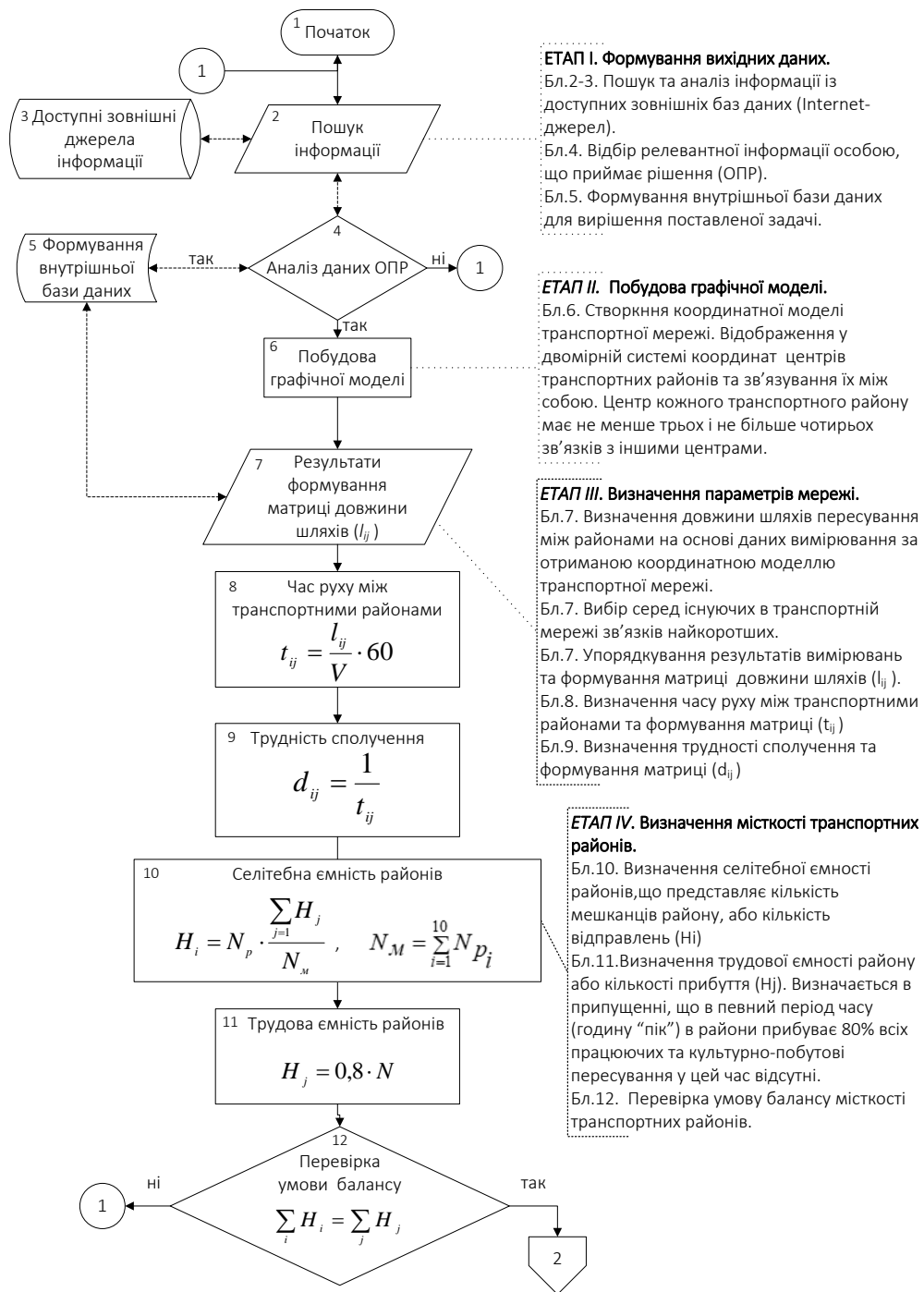


Рис. 1. Блок-схема I – IV етапів алгоритму формування маршрутів пасажирських перевезень на основі гравітаційного методу

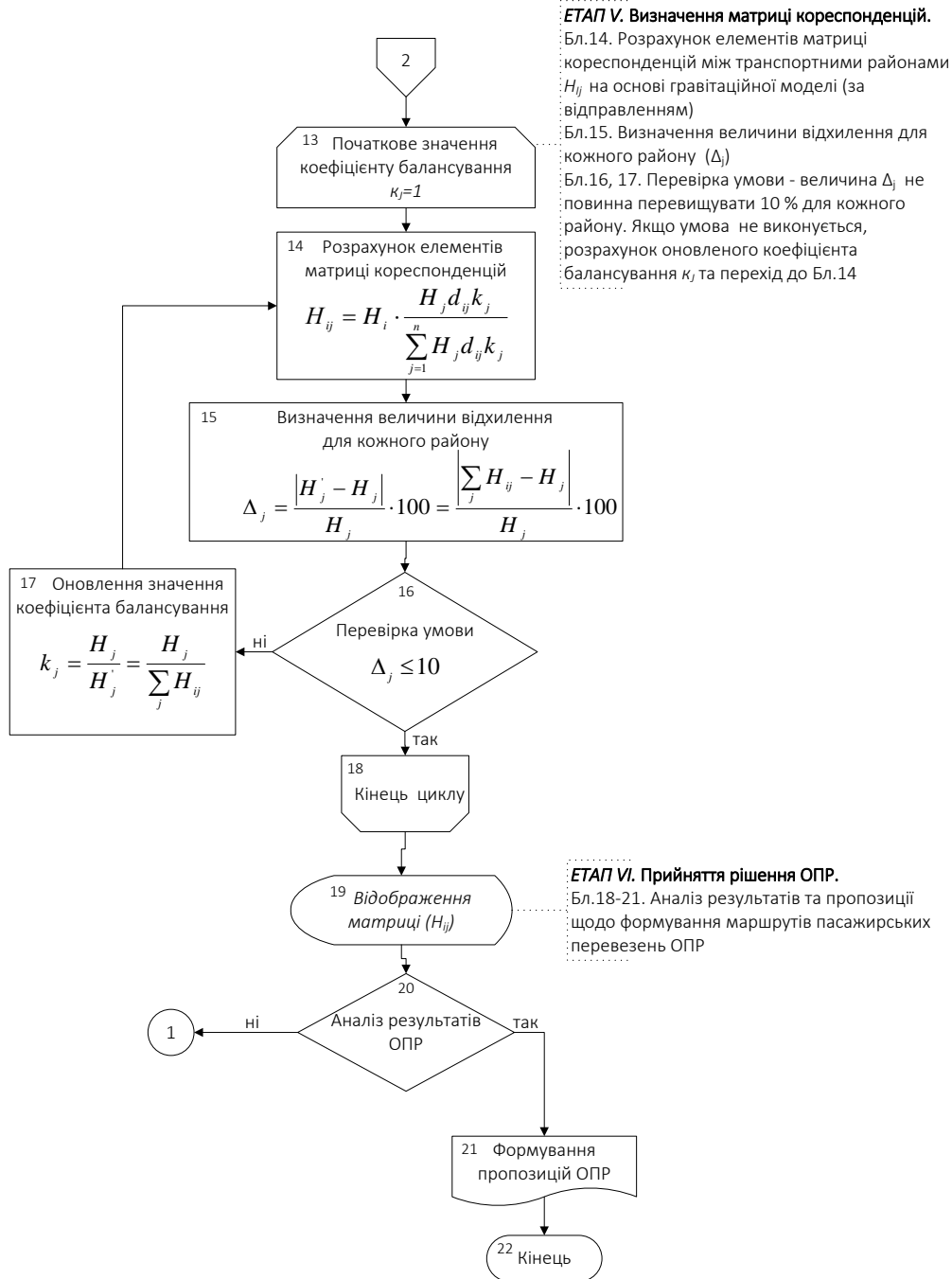


Рис. 2. Блок-схема V –VI етапів алгоритму формування маршрутів пасажирських перевезень на основі гравітаційного методу

Етап II. Створення координатної моделі транспортної мережі. Для цього потрібно у двомірній системі координат в масштабі відобразити центри транспортних районів та зв'язати їх між собою, щоб центр кожного транспортного району мав не менше трьох і не більше чотирьох зв'язків з іншими центрами (блок 6).

Етап III. Визначення довжини шляхів пересування між районами на основі даних вимірювання за отриманою координатною моделлю транспортної мережі. Вибір найкоротших зв'язків серед існуючих в транспортній мережі (l_{ij}) та їх упорядкування (блок 7).

Визначення часу руху між транспортними районами і труднощі сполучення (блоки 8, 9).

Етап IV. Визначення місткості транспортних районів та перевірка умови балансу (блоки 10-12).

Етап V. Визначення матриці кореспонденцій на основі реалізації ітераційного процесу з оновленням коефіцієнта балансування на кожній ітерації, поки не буде досягнуто задану точність для кожного з районів (блоки 13-18).

Етап VI. Аналіз отриманих рішень ОПР та формування пропозицій щодо маршрутів пасажирських перевезень (блоки 19-21).

Розглянемо застосування алгоритму аналізу кореспонденцій для мережі міст в Дніпропетровській області. Розрахунки проведено в середовищі електронних таблиць Microsoft Excel.

Спершу розглянемо першу десятку населених пунктів, що мають найбільшу чисельність населення.

Етап 1, 2. Для обраних населених пунктів дані щодо кількості мешканців та населення, що працює, а також географічні координати (X – східної довготи, Y – північної широти) наведені табл. 1 [15, 16]. Координатна модель транспортної мережі представлена рис. 2.

Етап 3, 4. Довжину шляхів пересування між районами (l_{ij}), отриману на основі вимірювання для існуючих в транспортній мережі зв'язків наведено в табл. 2 [17,18].

Результати розрахунку часу руху між транспортними районами і труднощів сполучення наведені у табл. 3, 4.

Швидкість руху транспортного засобу – 20 км/год. Час на пересування всередині району – 2 хв.

Таблиця 1.

Вхідні дані для аналізу мережі міст Дніпропетровської області з найбільшою кількістю населення [15, 16]

№	Назва міста	Мешканці, тис. осіб N_{pi}	Населення, що працює, тис. осіб H_j	Координати	
				X, град. сх. д.	У, град. півн.ш
1	Дніпро	1002,1	632,4	35°01'05"	48°28'00"
2	Кривий Ріг	624,5	301,5	33°20'36"	47°54'31"
3	Кам'янське	233,3	147,3	34°36'47"	48°30'27"
4	Нікополь	109,03	57,4	34°23'35"	47°33'56"
5	Павлоград	104,3	52,8	35°52'12"	48°31'12"
6	Новомосковськ	70,4	40,6	35°13'26"	48°37'58"
7	Марганець	46,6	24,1	34°37'00"	47°38'53"
8	Жовті Води	44,1	21,7	33°30'54"	48°21'24"
9	Покров	39,04	17,6	34°04'52"	47°39'47"
10	Синельникове	37,2	12,7	35°30'43"	48°19'04"

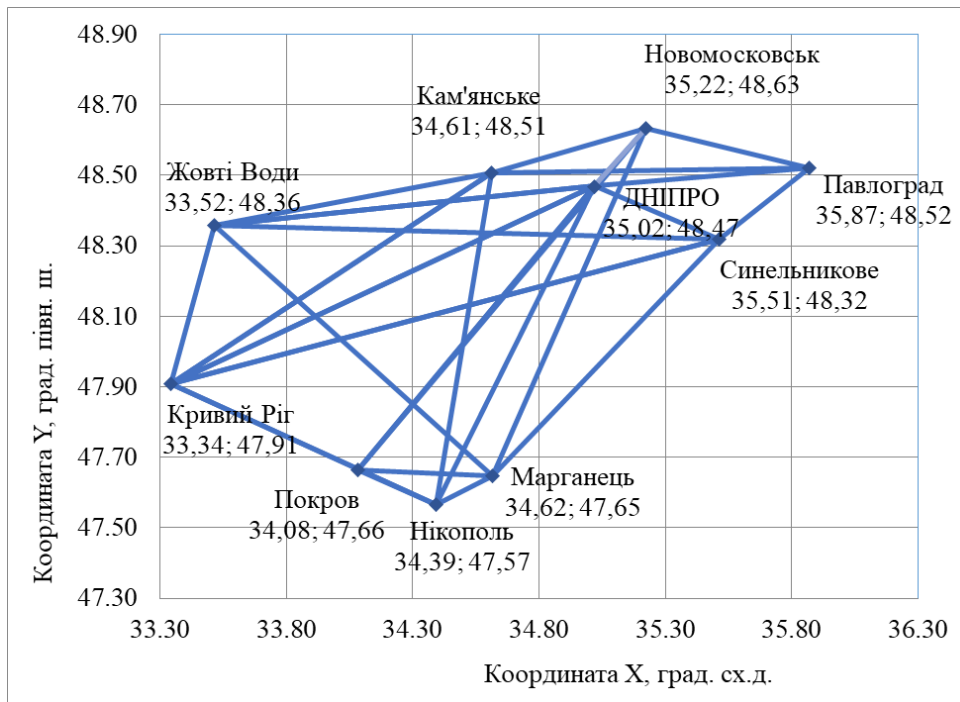


Рис. 2. Графічне відображення транспортної мережі Дніпропетровської області, що мають найбільшу чисельність населення

Таблиця 2.

Матриця найкоротших шляхів між містами Дніпропетровської області з найбільшою кількістю населення, км

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	0	144	38	122	81	30	121	131	147	54
2. Кривий Ріг	144	0	128	106	233	171	134	67	77	195
3. Кам'янське	38	128	0	125	120	69	143	110	132	93
4. Нікополь	122	106	125	0	202	151	29	151	27	150
5. Павлоград	81	233	120	202	0	54	201	207	228	40
6. Новомосковськ	30	171	69	151	54	0	149	155	176	52
7. Марганець	121	134	143	29	201	149	0	150	55	128
8. Жовті Води	131	67	110	151	207	155	150	0	115	173
9. Покров	147	77	132	27	228	176	55	115	0	172
10. Синельникове	54	195	93	150	40	52	128	173	172	0

Таблиця 3.

Час руху між транспортними районами, хв.

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	2	432	114	366	243	90	363	393	441	162
2. Кривий Ріг	432	2	384	318	699	513	402	201	231	585
3. Кам'янське	114	384	2	375	360	207	429	330	396	279
4. Нікополь	366	318	375	2	606	453	87	453	81	450
5. Павлоград	243	699	360	606	2	162	603	621	684	120
6. Новомосковськ	90	513	207	453	162	2	447	465	528	156
7. Марганець	363	402	429	87	603	447	2	450	165	384
8. Жовті Води	393	201	330	453	621	465	450	2	345	519
9. Покров	441	231	396	81	684	528	165	345	2	516
10. Синельникове	162	585	279	450	120	156	384	519	516	2

Результати визначення місткості транспортних районів наведено в табл. 5 (селітебну та трудову ємність району).

Таблиця 4.

Трудність сполучення між транспортними районами (помножених на 10^{-3} , крім діагональних елементів)

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Дніпро	0.5	2.3	8.8	2.7	4.1	11.1	2.8	2.5	2.3	6.2
2. Кривий Ріг	2.3	0.5	2.6	3.1	1.4	1.9	2.5	5.0	4.3	1.7
3. Кам'янське	8.8	2.6	0.5	2.7	2.8	4.8	2.3	3.0	2.5	3.6
4. Нікополь	2.7	3.1	2.7	0.5	1.7	2.2	11.5	2.2	12.3	2.2
5. Павлоград	4.1	1.4	2.8	1.7	0.5	6.2	1.7	1.6	1.5	8.3
6. Новомосковськ	11.1	1.9	4.8	2.2	6.2	0.5	2.2	2.2	1.9	6.4
7. Марганець	2.8	2.5	2.3	11.5	1.7	2.2	0.5	2.2	6.1	2.6
8. Жовті Води	2.5	5.0	3.0	2.2	1.6	2.2	2.2	0.5	2.9	1.9
9. Покров	2.3	4.3	2.5	12.3	1.5	1.9	6.1	2.9	0.5	1.9
10. Синельникове	6.2	1.7	3.6	2.2	8.3	6.4	2.6	1.9	1.9	0.5

Таблиця 5.

Результати визначення місткості транспортних районів

Номер транспортного району	Показник	
	Селітебна ємність району (H_i), тис. чол.	Трудова ємність району (H_j), тис. чол.
1. Дніпро	453.79	505.92
2. Кривий Ріг	282.80	241.20
3. Кам'янське	105.65	117.84
4. Нікополь	49.37	45.92
5. Павлоград	47.23	42.24
6. Новомосковськ	31.88	32.48
7. Марганець	21.10	19.28
8. Жовті Води	19.97	17.36
9. Покров	17.84	14.08
10. Синельникове	16.85	10.16

Етап 5. Значення елементів матриці кореспонденцій між транспортними районами визначаємо за допомогою гравітаційної моделі (за відправленням).

Результати розрахунку елементів матриці Y на першій ітерації при

прийнятому значенні коефіцієнта балансування $k_j=1$ представлено в табл. 6.

Таблиця 6.

Значення елементів матриці У на першій ітерації

Номер району відправлення	Номер району прибуття										Σu_{ij}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	252.96	0.56	1.03	0.13	0.17	0.36	0.05	0.04	0.03	0.06	255.40
2	1.17	120.60	0.31	0.14	0.06	0.06	0.05	0.09	0.06	0.02	122.56
3	4.44	0.63	58.92	0.12	0.12	0.16	0.04	0.05	0.04	0.04	64.55
4	1.38	0.76	0.31	22.96	0.07	0.07	0.22	0.04	0.17	0.02	26.01
5	2.08	0.35	0.33	0.08	21.12	0.20	0.03	0.03	0.02	0.08	24.32
6	5.62	0.47	0.57	0.10	0.26	16.24	0.04	0.04	0.03	0.07	23.44
7	1.39	0.60	0.27	0.53	0.07	0.07	9.64	0.04	0.09	0.03	12.73
8	1.29	1.20	0.36	0.10	0.07	0.07	0.04	8.68	0.04	0.02	11.87
9	1.15	1.04	0.30	0.57	0.06	0.06	0.12	0.05	7.04	0.02	10.41
10	3.12	0.41	0.42	0.10	0.35	0.21	0.05	0.03	0.03	5.08	9.81

Умова відповідності вихідної величини трудової ємності районів і трудової ємності, що отримана у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю, виконується тільки для першого, третього і п'ятого транспортних районів. Тому розрахуємо нові значення коефіцієнта балансування (блок 17, рис. 2) і проведемо розрахунок матриці кореспонденцій на новій ітерації. Дослідним шляхом було встановлено, що необхідно провести 9 ітерацій, щоб у кожному з районів було дотримано вимогу (блок 16, рис. 2). Значення коефіцієнтів для ітерацій з 2 по 9 наведені в табл. 7.

Значення елементів матриці кореспонденцій (H_{ij}), отриманої на дев'ятій ітерації представлено в табл. 8.

Етап 6. Результати розрахунків за кількістю людей, що прибувають до транспортних районів міст Дніпропетровської області з найбільшою чисельністю населення наведено на рис. 3. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів представлено на рис. 4.

Таблиця 7.

Значення коефіцієнтів балансування k_j

Номер ітерації	Номер транспортного району									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.042	0.836	1.141	0.981	0.980	1.333	1.124	1.130	1.084	1.088
2	1.045	0.846	1.124	0.989	0.993	1.218	1.090	1.085	1.049	1.064
3	1.043	0.845	1.126	0.986	0.989	1.257	1.098	1.098	1.061	1.074
4	1.044	0.845	1.126	0.987	0.990	1.243	1.096	1.094	1.056	1.069
5	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.248	1.097	1.095	1.058	1.071
6	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.246	1.097	1.095	1.057	1.070
7	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.247	1.097	1.095	1.058	1.071
8	1.043	0.845	1.126	0.987	0.990	1.246	1.097	1.095	1.058	1.071
9	1.031	0.909	1.067	0.952	0.969	1.109	1.058	1.027	1.003	1.036

Таблиця 8.

Матриця кореспонденцій на 9-й ітерації

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття										ΣH_{ij}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	444.02	1.782	4.394	0.467	0.650	1.698	0.220	0.183	0.127	0.254	453.79
2	15.722	256.05	4.445	1.833	0.770	1.015	0.677	1.217	0.829	0.239	282.80
3	6.784	0.778	97.18	0.177	0.170	0.287	0.072	0.084	0.055	0.057	105.65
4	2.766	1.229	0.678	43.45	0.132	0.171	0.466	0.080	0.353	0.046	49.37
5	4.232	0.568	0.718	0.146	40.73	0.487	0.068	0.060	0.042	0.177	47.23
6	5.574	0.378	0.609	0.095	0.245	24.80	0.045	0.039	0.027	0.066	31.88
7	2.243	0.782	0.477	0.803	0.107	0.140	16.30	0.065	0.139	0.044	21.10
8	2.124	1.604	0.636	0.158	0.106	0.138	0.074	15.03	0.068	0.033	19.97
9	1.985	1.463	0.555	0.927	0.101	0.127	0.212	0.091	12.34	0.035	17.84
10	5.303	0.567	0.774	0.164	0.567	0.422	0.090	0.060	0.047	8.85	16.85
$H_j = \Sigma H_{ij}$	490.75	265.20	110.47	48.22	43.58	29.29	18.23	16.91	14.03	9.80	-
$\Delta_j, \%$	3.00	9.95	6.26	5.01	3.18	9.83	5.46	2.61	0.34	3.52	-

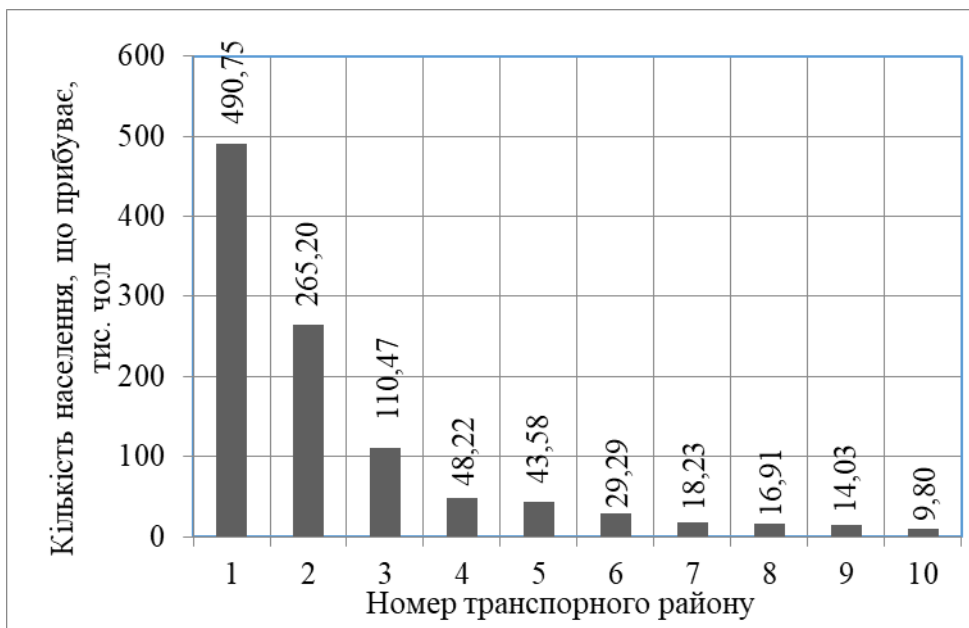


Рис. 3. Кількість людей, що прибуває до транспортних районів

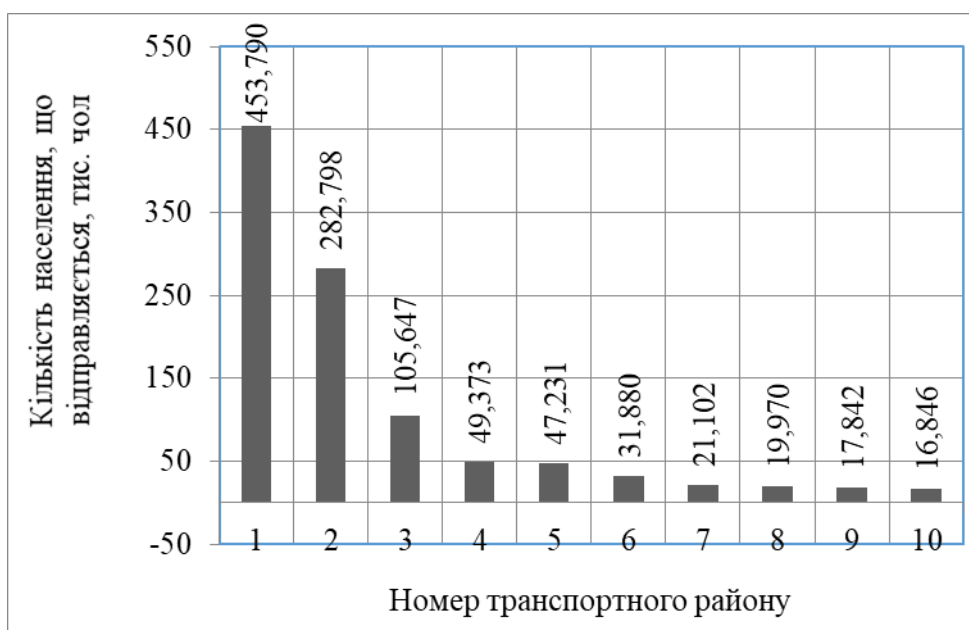


Рис. 4. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів

Найбільша кількість населення прибуває до таких міст як Дніпро – 490,75 тис. чол, Кривий Ріг – 265,2 тис. чол та Кам’янське – 110,45 тис. чол.

Це пов'язане з тим, що це найбільші міста за площею й територією, та в них найкраще розвинена промисловість та транспортна інфраструктура. Саме ці міста надають найбільшу кількість робочих місць для населення області, будучи регіонально важливими, виконуючи політичні, адміністративні, економічні, соціальні, культурні та наукові функції.

Середню значимість серед розглянутих міст займають Нікополь – 48,22 тис. чол. та Павлоград – 43,59 тис. чол. Це пояснюється меншою чисельністю населення відносно першої трійки міст. Отже, кількість людей, що прибувають, значно менше.

Найменші показники мають Новомосковськ, Марганець, Жовті Води, Покров та Синельникове, що пов'язано з порівняно невеликою чисельністю населення, площею, а отже із незначною кількістю робочих місць.

Проаналізуємо на основі застосування запропонованого алгоритму кореспонденції для мережі інших міст, що розташовані поблизу м. Дніпра.

Етап 1,2. Дані щодо назви самих населених пунктів та їх показників – кількості мешканців та населення, що працює, наведені в табл. 9. Координатна модель даної транспортної мережі представлена рис. 5 [15, 16].

Таблиця 9.

Вхідні дані щодо населених пунктів, що розташовані поблизу м. Дніпра [15, 16]

№	Назва міста	Кількість мешканців, тис. осіб	Населення, що працює тис. осіб
1	Ювілейне	11 528	5628
2	Обухівка	9178	5213
3	Іларіонове	8495	4295
4	Солоне	7557	3589
5	Карнаухівка	6597	2987
6	Кринички	4657	2056
7	Новомиколаївка	4006	1984
8	Спаське	3145	1426
9	Лобойківка	3047	1228
10	Чаплинка	1978	842

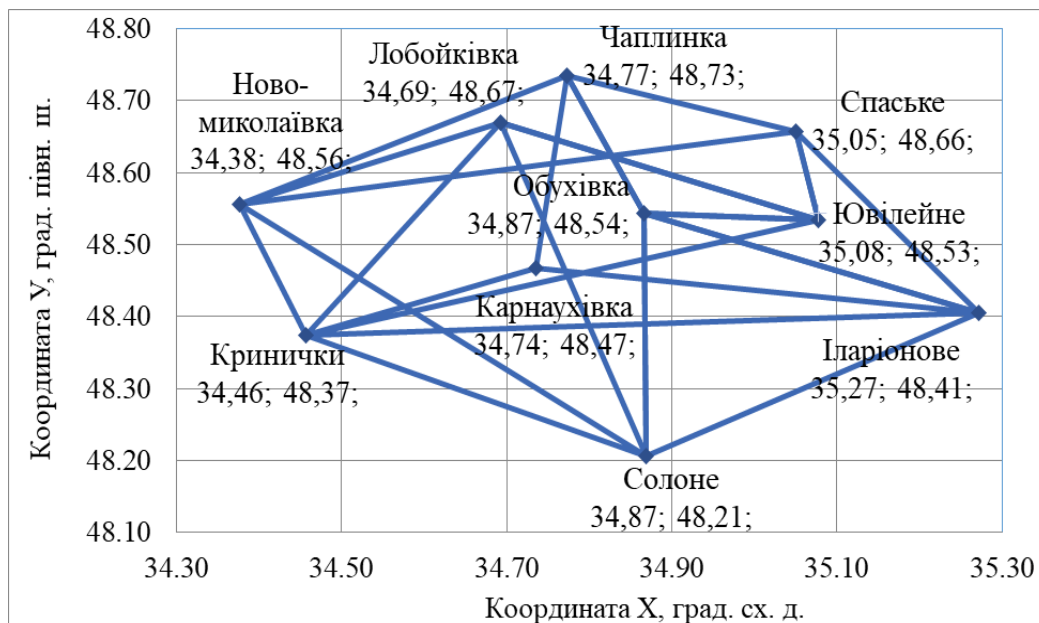


Рис. 5. Графічне відображення транспортної мережі міст (табл. 9) в географічних координатах

Етап 3, 4. Довжину шляхів пересування між районами (l_{ij}), отриману на основі вимірювання для існуючих в транспортній мережі (рис. 5) зв'язків наведено в табл. 10 [17,18].

Таблиця 10.

Матриця найкоротших шляхів між населеними пунктами транспортної мережі

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ювілейне	0	18	34	49	43	58	35	21	40	38
Обухівка	18	0	43	63	42	65	54	36	24	36
Іларіонове	34	43	0	49	50	70	81	46	59	67
Солоне	49	63	49	0	40	46	64	66	73	88
Карнаухівка	43	42	50	40	0	31	32	54	36	51
Кринички	58	65	70	46	31	0	26	76	42	60
Новомиколаївка	35	54	81	64	32	26	0	52	37	73
Спаське	21	36	46	66	54	76	52	0	56	55
Лобойківка	40	24	59	7	36	42	37	56	0	12
Чаплинка	38	36	67	88	51	60	73	55	12	0

Етап 5. Методологія знаходження матриці кореспонденцій для заданої транспортної мережі ідентична розрахункам, що проводилися вище. В процесі розрахунків було виконано дві ітерації, після яких умова (блок 16, рис.2) виконується для усіх районів мережі (табл. 11).

Таблиця 11.

Матриця кореспонденцій на другій ітерації

Номер транспортного району відправлення	Номер транспортного району прибуття										ΣH _{ij}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4070.11	160.586	65.693	34.366	33.449	17.426	31.167	37.981	17.912	12.877	4481.57
2	114.418	3290.94	39.426	20.288	25.993	11.802	15.333	16.816	22.659	10.317	3568.00
3	72.701	61.238	3052.09	31.306	26.206	13.153	12.268	15.795	11.063	6.653	3302.48
4	58.622	48.571	48.255	2673.94	38.066	23.260	18.044	12.793	10.390	5.886	2937.82
5	65.068	70.966	46.063	43.409	2224.70	33.618	35.151	15.230	20.522	9.893	2564.62
6	47.058	44.731	32.096	36.822	46.670	1524.94	42.202	10.556	17.159	8.203	1810.43
7	62.029	42.828	22.063	21.052	35.963	31.102	1309.19	12.272	15.494	5.363	1557.35
8	101.101	62.825	37.993	19.963	20.841	10.405	16.414	936.12	10.011	6.961	1222.64
9	47.548	84.420	26.535	168.616	28.005	16.867	20.665	9.983	753.32	28.581	1184.54
10	51.204	57.577	23.905	13.722	20.224	12.079	10.716	10.399	42.815	526.32	768.96
H _j = ΣH _{ij}	4689.86	3924.69	3394.12	3063.48	2500.11	1694.65	1511.15	1077.95	921.34	621.05	-
Δ _j , %	4.16	5.89	1.22	6.70	4.62	3.03	4.79	5.51	6.22	7.80	-

Етап 6. Кількість населення, що прибуває та відправляється зображено на рис. 6 та 7 відповідно.

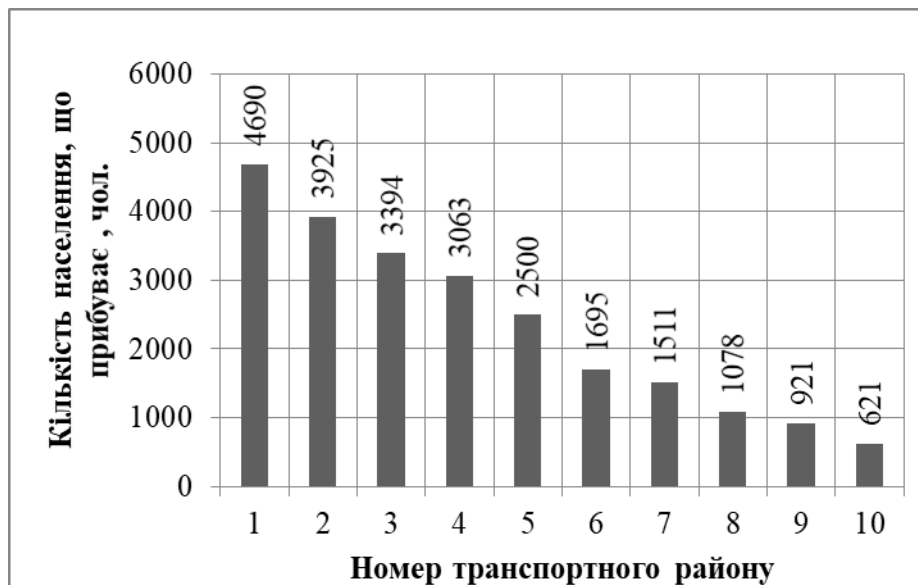


Рис. 6. Кількість людей, що прибуває до транспортних районів

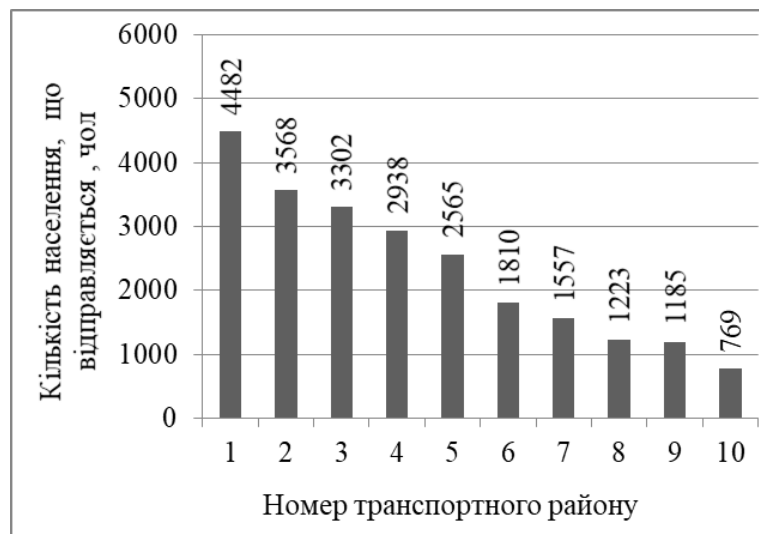


Рис. 7. Кількість людей, що відправляється з транспортних районів

Аналіз діаграм прибуття та відправлення (рис. 4–7) показує, що кількість людей, які переміщуються, залежить від чисельності населення. Чисельність населення тісно пов’язана з кількістю робочих місць, а отже із розвитком дорожньої інфраструктури та кількістю переміщуваних пасажирів.

Аналіз результатів показав, що кількість робочого населення, що переміщується, прямо пропорційно залежить від загальної чисельності населення міста, села, їх площі та обласного значення. Чим більше розвинена промисловість, економіка, наука, культура, тим більша кількість населення переміщується між важливими для області містами. Найбільшими населеними пунктами Дніпропетровської області, між якими здійснюється транспортне сполучення є Дніпро, Кривий Ріг, Кам’янське, Нікополь та Павлоград; найменшими – Спаське, Лобойківка, Чаплинка.

Рекомендованими маршрутами можуть бути:

- Дніпро-Нікополь через Солоне чи Карнаухівку;
- Кривий Ріг-Кам’янське-Дніпро через Новомиколаївку, Кіровське;
- Синельникове-Дніпро через Іларіонове;
- Павлоград-Дніпро через Ювілейне;
- Новомосковськ-Дніпро через Ювілейне.

Висновки. Результати дослідження мають наукову та практичну значимість, адже можуть бути використані при проектуванні та удосконаленні

транспортної інфраструктури Дніпропетровської області, визначені категорій доріг при плануванні автобусного та залізничного дорожнього сполучення між містами та селами. Обґрунтовані параметри міських і міжміських пасажирських перевезень дає змогу визначити час перевезення, кількості рейсів та необхідну кількість і габаритів автобусів на день. Кінцеві пункти маршрутів бажано встановлювати між найбільшими містами, адже саме таке з'єднання має найбільшу кількість переміщеного населення. Однак треба враховувати розташування маленьких селищ, щоб задовільнити транспортну потребу усього населення Дніпропетровської області з мінімальними витратами та максимальними прибутками.

Вирішено задачу маршрутизації за умов відповідності вихідної величини трудової ємності районів і трудової ємності, отриманої у результаті розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю. Даний підхід може бути корисним при з'ясуванні ваги окремих населених пунктів регіона при проектуванні дорожньо-транспортної інфраструктури, ремонті доріг та планування маршрутного з'єднання між містами та селами.

Список використаних джерел:

1. Клименко І. С., Кривошеєва С. В., Кривенко О. К. Проблеми та перспективи розвитку ринку пасажирських автомобільних перевезень в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. DOI: 10.32838/2523-4803/69-6-26.

2. Дослідження ринку пасажирських перевезень Дніпропетровської області. *Дніпропетровська обласна державна адміністрація* : [сайт]. – URL: <https://adm.dp.gov.ua/dniprooda/pro-oda/departamenti-ta-upravlinnya/upravlinnya-transportu/pitannya-transportu-ta-perevezen/doslidzhennya-rinku-pasazhirskih-perevezen>

3. Гецович Є. М., Засядько Д. В. Побудова матриці транспортних кореспонденцій, транзитних для центральної ділової частини мегаполісу. *Автомобільний транспорт*. 2014. Вип. 34. С. 60–64. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11_34.pdf

4. Гецович Е. М., Засядько Д. В. Транспортное районирование мегаполисов и расчет маршрутов реализации корреспонденций. *Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник тезисов конференции*. Минск. 2010. С.26–33.

5. Горбачов П. Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені*

академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2009. №27. С.210-214.

6. Любий Є. В. Підхід щодо формування транспортної моделі системи пасажирського транспорту в малих містах. *Вісник економіки транспорту і промисловості*: Проблеми транспортного комплексу України. Харків. 2016., № 55. 191 с. URL: <http://btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750>

7. Гончаренко С. Ю. Современные проблемы моделирования матриц пассажирских корреспонденций в средних городах. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2013. № 56 (1029). С. 83–88.

8. Sheffy Y. Urban Transportation Networks. : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. 415 p. URL: http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi_urban_trans_networks.pdf

9. Швецов В. И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях. *Труды МФТИ*. 2010. Том 2, №4. С.169-179.

10. Кара І. А. Визначення пасажиропотоків на міських маршрутах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Львів, 2017. 208 с. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1757/diskaraia.pdf>

11. Красноштан О.М. Система побудови матриць кореспонденцій на основі інфрачервоного інтелектуалізованого лічильника пасажирів та системи GPS. *Автомобільний транспорт*: науково-виробничий журнал. Харків: ХНАДУ. 2015. № 5 (247). С. 30–32.

12. Карпенко А. П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. *Приложение к журналу «Информационные технологии»*. 2012. № 7. 32 с. URL: <http://is.ifmo.ru/works/2012/karpenko-population-algorithms.pdf>

13. Гецович Е. М., Казакова М. О., Холодова О. А. Задача делимитации центральной деловой части мегаполиса. *Вестник ХНАДУ*: сб. науч. тр. Харьков. 2009. Вип. 45. С. 52–54.

14. Днепропетровская область 2019. Инвестиционный паспорт. URL : http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment_passport_RU.pdf

15. Адміністративний устрій. *Дніпропетровська обласна державна адміністрація*: [сайт]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/dnipropetrovshina/administrativnij-ustrij>

16. Дніпропетровська область. *Вікіпедія*: [сайт]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська_область

17. Онлайн карта України. *Doroga.ua*: [сайт]. URL: <http://www.doroga.ua/Pages/Map.aspx?RegionID=1061>

18. Розрахунок відстаней. *Lardi-trans*: [сайт]. URL: <https://lardi-trans.com/useful/distance/>

References:

1. Klymenko I. S., Kryvoshieieva S. V., Kryvenko O. K. Problemy ta perspektyvy rozvytku rynku pasazhyrskykh avtomobilnykh perevezen v Ukraini. Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-26>.
2. Doslidzhennia rynku pasazhyrskykh perevezen Dnipropetrovskoi oblasti. Dnipropetrovska oblasna derzhavna administratsiia: [sait]. – URL: <https://adm.dp.gov.ua/dniprooda/pro-oda/departamenti-ta-upravlinnya/upravlinnya-transportu/pitannya-transportu-ta-perevezen/doslidzhennya-rinku-pasazhirskih-perevezen>
3. Hetsovykh Ye. M., Zasiadko D. V. Pobudova matrytsi transportnykh korespondentsii, tranzytnykh dlia tsentralnoi dilovoi chastyny mehapolisu. Avtomobilnyi transport. 2014. Vyp. 34. S. 60–64. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/928/1/11_34.pdf
4. Getsovich EM, Zasyadko DV Transport zoning of megapolises and calculation of routes for the implementation of correspondence. Improving the organization of road traffic and transportation of passengers and goods: a collection of conference abstracts. Minsk. 2010. pp. 26–33.
5. Horbachov P. F. Nova kontseptsiiia modeliuвання potreb naselennia u trudovykh peresuvanniakh miskym pasazhyrskym transportom. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana. Dnipropetrovsk. 2009. №27. S.210-214.
6. Liubyi Ye. V. Pidkhid shchodo formuvannia transportnoi modeli systemy pasazhyrskoho transportu v malykh mistakh. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti: Problemy transportnoho kompleksu Ukrainy. Kharkiv. 2016. № 55. 191 p. URL: <http://btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750>
7. Goncharenko S. Yu. Sovremennye problemy modelirovaniya matric passazhirskih korrespondencij v srednih gorodah. Visnik NTU «HPI». 2013. № 56 (1029). S. 83–88.
8. Sheffy Y. Urban Transportation Networks : Equilibrium Analisis with Mathematical Programming Methods. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. 415 p. URL: http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi_urban_trans_networks.pdf
9. Shvecov V. I. Problemy modelirovaniya peredvizhenij v transportnyh setyah. Trudy MFTI. 2010. Tom 2, №4. P. 169-179.
10. Kara I.A. Definition of passenger flows on city routes: dis. ... cand. tech. science: 05.22.01. Lviv, 2017. 208 p. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1757/diskaraia.pdf>
11. Krasnoshtan O.M. Correspondence matrix construction system based on infrared intelligent passenger counter and GPS system. Road transport: scientific

and production journal. Kharkiv: KhNADU. 2015. № 5 (247). P. 30–32.

12. Karpenko A. P. Populyacionnye algoritmy global'noj poiskovoy optimizacii. Obzor novyh i maloizvestnyh algoritmov. Prilozhenie k zhurnalu «Informacionnye tekhnologii». 2012. № 7. 32 s. URL: <http://is.ifmo.ru/works/2012/karpenko-population-algorithms.pdf>

13. Gecovich E. M., Kazakova M. O., Holodova O. A. Zadacha delimitacii central'noj delovoj chasti megapolisa. Vestnik HNADU: sb. nauch. tr. Har'kov. 2009. Vip. 45. S. 52–54.

14. Dnepropetrovskaya oblast' 2019. Investicionnyj pasport. URL : http://dia.dp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Investment_passport_RU.pdf

15. Administratyvnyi ustrij. Dnipropetrovska oblasna derzhavna administratsiia: [sait]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblast/dnipropetrovshina/administrativnij-ustrij>

16. Dnipropetrovska oblast. Vikipediia: [sait]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Дніпропетровська_область

17. Onlain karta Ukrainy. Doroga.ua: [sait]. URL: <http://www.doroga.ua/Pages/Map.aspx?RegionID=1061>

18. Rozrakhunok vidstanei. Lardi-trans [sait]. URL: <https://lardi-trans.com/useful/distance/>

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.3>
УДК 656.13(075)

О. М. Сазонець, доктор економічних наук, професор, професор кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРОДУКЦІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті розглянуто проблематику постачання продукції транспортними засобами компанії деревообробної промисловості. Проведено дослідження і виявлено два основних види транспортування продукції, а саме, автомобілем і залізницею. Представлено переваги та недоліки використання цих видів транспорту. Розроблено алгоритм щодо вибору запропонованих транспортних засобів відділом компанії деревообробної промисловості. Побудовано модель з використанням оптимізаційної процедури функції корисності з урахуванням обмеження у вигляді лінійної функції. Задачу вирішено за допомогою методу множників Лагранжа.

Ключові слова: транспортний засіб; компанія деревообробної промисловості; функція корисності; множники Лагранжа.

В статье рассмотрена проблематика поставки продукции транспортными средствами компании деревообрабатывающей промышленности. Проведено исследование и выявлены два основных вида транспортировки продукции, а именно, автомобилем и по железной дороге. Представлены преимущества и недостатки использования этих видов транспорта. Разработан алгоритм по выбору предложенных транспортных средств отделом компании деревообрабатывающей промышленности. Построена модель с использованием оптимизационной процедуры функции полезности с учётом ограничения в виде линейной функции. Задача решена с помощью метода множителей Лагранжа

Ключевые слова: транспортное средство; компания деревообрабатывающей промышленности; функция полезности; множители Лагранжа.

The article considers the legal framework for regulating functioning of the woodworking industry. The negative consequences of staff reductions at

© **О. М. Сазонець, 2020**

enterprises are pointed out. It is mentioned that more and more woodworking enterprises often complain about problems with the supply of resources due to transport inconsistencies. Ukrainian entrepreneurs are concerned not only with the supply of raw materials, but also with how the products will be delivered to the consumer. The efficiency of use of production by consumers depends on it.

This task optimizes transport costs, considering the preferences of wood industry producers for a particular mode of transport. This type of industry can function effectively only if the logistics of supply of both raw materials and intermediate and finished products that provide transport in Ukraine can be successful. Analyzing logging technologies, scientists have found that a single-stage transport scheme is used to transport about 80% of products. This scheme is relevant for a short distance of export. Also, about 20% of timber is exported under a multi-stage transport scheme.

As a part of the woodworking industry, certain groups of industries have been identified. It is noted that the enterprises of the woodworking industry produce mainly goods of national consumption. However, the significant part of woodworking products is consumed in other industries in the national economy, so timely delivery of products to places of consumption is very important.

The article conducts research and identifies two main types of transportation of wood products, namely, by automobiles and rail. The advantages and disadvantages of using these modes of transport are presented. An algorithm for the selection of these tools by the transport department of the woodworking company has been developed. A model is constructed using the method of optimization of the utility function and constraints in the form of a linear function. The problem is solved using the method of Lagrange multipliers. The proportions of the company's use of road and rail transport in the supply of products are calculated.

Keywords: vehicle; transport; woodworking company; utility function; Lagrange multipliers.

Постановка проблеми. На сьогодні деревообробна промисловість займає важливу позицію в економіці України. Проблема полягає у тому, що питання продажів непереробленої деревини й контролю за її реалізацією до кінця не врегульоване. Цей недолік може привести до того, що виробництво залишиться без сировини або отримає її в недостатньому обсязі. У свою чергу, це може призвести до скорочення персоналу, втрати ринків та інших негативних результатів для економіки країни. Доступ до спільного ресурсу має бути вільним. При цьому повинна дотримуватися конкуренція на деревообробному ринку [1].

Все частіше деревообробні підприємства скаржаться на проблеми з

постачанням ресурсів, що пов'язано з транспортними нестиковками. Так, державна лісогосподарська компанія декларує суттєве зменшення заготівлі соснового пиловника, але потім виставляє його на продаж на аукціонних торгах за завищеними стартовими цінами.

Ці дії можуть спричинити мільйонні збитки національних переробних компаній і зменшення обсягів виробництва. При цьому треба відзначити, що сировинне забезпечення деревообробних компаній в Україні за прийнятними цінами вважається основним фактором, який визначає їх безперебійне функціонування.

Якщо у деревообробних підприємств в наявності буде якісна сировина, вони будуть ефективно працювати, будуть мати можливість створювати нові робочі місця, залучати інвестиції та платити податки.

В Україні деревообробна промисловість має спеціальну систему електронного обліку деревини – ЕОД – у всіх лісових господарствах Держлісагентства, яка охоплює майже 70% лісгоспів України. Необхідним є поширення її на угіддя усіх форм власності. Завдяки цьому перекриваються канали незаконного обігу деревини та можливих нелегальних вирубок лісу [1]. Тобто ми бачимо покращання в цій сфері. Але українських підприємців турбує не тільки поставка сировини, але й те, яким чином продукція буде постачатися до споживача. Від цього залежить ефективність використання продукції. Вирішення цієї задачі оптимізує затрати на транспортування з урахуванням прихильностей виробників деревообробної промисловості до того чи іншого виду транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням деревообробної галузі займалось багато вчених. Зокрема, І. М. Озарків, Й. С. Мисак, І. А. Соколовський у книзі [2] дослідили, як функціонує лісопромисловий комплекс в Україні на мезорівні, використовуючи дані щодо економічного та природно-ресурсного потенціалу деревообробних виробництв. На основі проведених досліджень ними визначені особливості функціонування деревообробної промисловості, а саме, проаналізовані міжсекторальні зв'язки та рівні затратності європейських та вітчизняних деревообробних виробництв. Проведено порівняння сировинного потенціалу деревообробної промисловості держав-членів Євросоюзу та України, досліджено структурні зміни у сировинному потенціалі деревообробних підприємств на регіональному рівні. Авторами розподілено підприємства західного регіону України за стаді-

ями первинної та вторинної обробки деревини. Також вченими виявлено ключові проблеми розвитку деревообробної промисловості в Україні та обґрунтовано перспективи і форми реалізації деревообробного потенціалу.

Цей вид промисловості може ефективно функціонувати тільки при умові успішної логістики поставок як сировини, так і проміжної та готової продукції, що забезпечує транспорт України. Проблематикою транспортних перевезень займалось багато українських та іноземних вчених.

Автори Білоус М.М., Виговський А.Й. в статті [3] вивчають актуальну проблему удосконалення технології перевезення лісоматеріалів, аналізують способи оптимізації процесу транспортування на всіх його стадіях. Наведено результати вивчення досвіду роботи лісовозного транспорту на прикладі філії НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція». Ними проведено аналіз існуючих технологій і технічних засобів на лісотransпортних підприємствах.

Аналізуючи технології лісозаготівель, вчені встановили, що для перевезення близько 80% продукції застосовується одноступінчаста транспортна схема. Ця схема актуальна при незначній відстані вивезення продукції. Також близько 20% лісоматеріалів вивозиться за багатоступеневою транспортною схемою. Загалом при багатоступеновому вивезенні витрати на вивезення 1 м³ деревини знижуються на 28%. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення середньої відстані вивезення для лісотransпорту підприємства і перенесення основних витрат на зовнішніх перевізників.

В статті [4] проведено аналіз стану матеріальної бази автопарку для перевезення вантажів лісової промисловості ДП «Любомльського ЛГ», що розташоване в Любомльському районі Волинської області. Запропоновано шляхи підвищення ефективності цієї діяльності.

Багато наукових праць також присвячено транспортній тематиці в інших сферах економіки України. Так, у статті [5] розглядається одна з найбільш нагальних задач на виробництві, а саме задача оптимізації переміщень транспорту на підприємстві з організацією логістики розміщення складів. Для оптимізації руху у статті використані математичні методи та моделі в транспортній логістиці і запропоновано вирішення математичної задачі лінійного програмування. При цьому рішення цієї задачі проводиться при умовах інфляції в Україні та сьогодишньої економічної ситуації у цілому. В транспортній задачі використано логістичні показники ефективності.

ті. Пошук методів оптимізації перевезень вантажів здійснювався при використанні пошуку дійового розташування складських площ та закритої транспортної задачі.

Але на даному етапі розвитку науки у сфері транспортних перевезень не вирішено проблему щодо розподілу перевезень продукції деревообробної промисловості по видам транспорту.

Мета статті. Метою статті є аналіз існуючих прихильностей та майбутніх витрат щодо транспортних поставок продукції підприємства деревообробної промисловості і розробка оптимального плану поставок для різних видів транспорту.

Виклад основного матеріалу. Деревообробна промисловість – це галузь лісової промисловості, яка здійснює механічну та хіміко-механічну обробку та переробку деревини й що використовує різні лісоматеріали як сировину для виробництва.

У складі деревообробної промисловості можна виділити наступні групи виробництв:

- виробництва, що здійснюють первинну обробку деревини (шпалопильне, лісопильне);
- вторинна обробка деревини (фанерне, паркетне, меблеве, виробництво сірників, деревостружкових плит, деталей, стандартних будинків та ін.);
- хіміко-механічна переробка деревини (деревних пластиків, деревоволокнистих плит).

Особливу роль грає виробництво деревоволокнистих і деревостружкових плит, що надає можливість ефективного використання відходів лісопилення й інших деревообробних виробництв. При цьому отримується продукція, що користується підвищеним попитом та є основним джерелом для розвитку меблевої промисловості.

Деревообробна промисловість – важлива галузь лісового комплексу. Її підприємства виробляють головним чином товари національного споживання. Однак значна частина деревообробної продукції споживається в національному господарстві як предмети й знаряддя праці. Її продукцію використовують будівельна індустрія, сільське господарство, транспорт, майже всі галузі промисловості.

Відносини у галузі деревообробної промисловості регулюються багатьма нормативно-правовими актами. Зараз на розгляді Верховної ради Укра-

їни Проект Закону України «Про ринок деревини». Він визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування ринку деревини, регулює відносини, пов'язані з купівлею-продажем деревини, спрямований на розвиток ринкових відносин у лісопромисловому комплексі з метою забезпечення деревиною потреб споживачів на принципах вільної і добросовісної конкуренції та сталого використання лісових ресурсів [6].

Одною з таких компаній є деревообробна компанія «Світ дерев'яних виробів». Підприємство засновано 05.07.2001 року. З цього часу воно займається виробництвом пиломатеріалів з твердолистяних та хвойних порід деревини, до яких відносяться дубова паркетна заготовка, обрізна та необрізна дошка. Пропонуються послуги по сушінню деревини та завантажувальні, монтажні роботи.

Створено торгівельний відділ «Світ дерев'яних виробів», котрий займається продажем товарів з деревини та супутніми виробами, а саме, лаками, фарбами, шпатлівкою, барвниками та іншими виробами. На сьогодні асортимент складає порядка 200 найменувань різних дерев'яних виробів. Також надаються послуги монтажу, шліфування, лакування, підбору барвників та інші будівельні послуги. Створено можливість замовити товари та послуги он-лайн або у відеочаті та доставку до замовника. Головний офіс компанії розміщено у місті Львів [7].

Після виготовлення продукція компанії постачається в різні куточки країни та може бути поставлена за кордон. Для зв'язку зі споживачами існує спеціально виділена телефонна лінія та можливість спілкування електронною поштою. Серед транспортних засобів, що обираються споживачами, найбільш вживаними є використання залізничного транспорту та автотранспорту. За допомогою дослідження функціонування підприємства передостанніх років на основі первісних транспортних документів використання цих видів транспорту ми дізнались, що ці два види транспорту користуються однаковим попитом. Тоді ми можемо сказати, що існують однакові прихильності щодо використання визначених видів транспорту [7]. В цьому випадку функція корисності буде мати такий вигляд

$$U = tp, \quad (1)$$

де t – відстань (в км), яку долає один автомобіль з вантажопідйомністю 10 т, що перевозить продукцію деревообробної промисловості, в місяць;
 p – відстань (в км), яку долає один вагон залізничного транспорту ван-

тажопідйомністю 10 т, що перевозить продукцію деревообробної промисловості, за один місяць.

Графічно ця функція представлена лініями байдужості (рис. 1). Тобто надання перевезення залізничним транспортом і автомобілем є взаємозамінними. Розглядається середня кількість транспортних засобів.

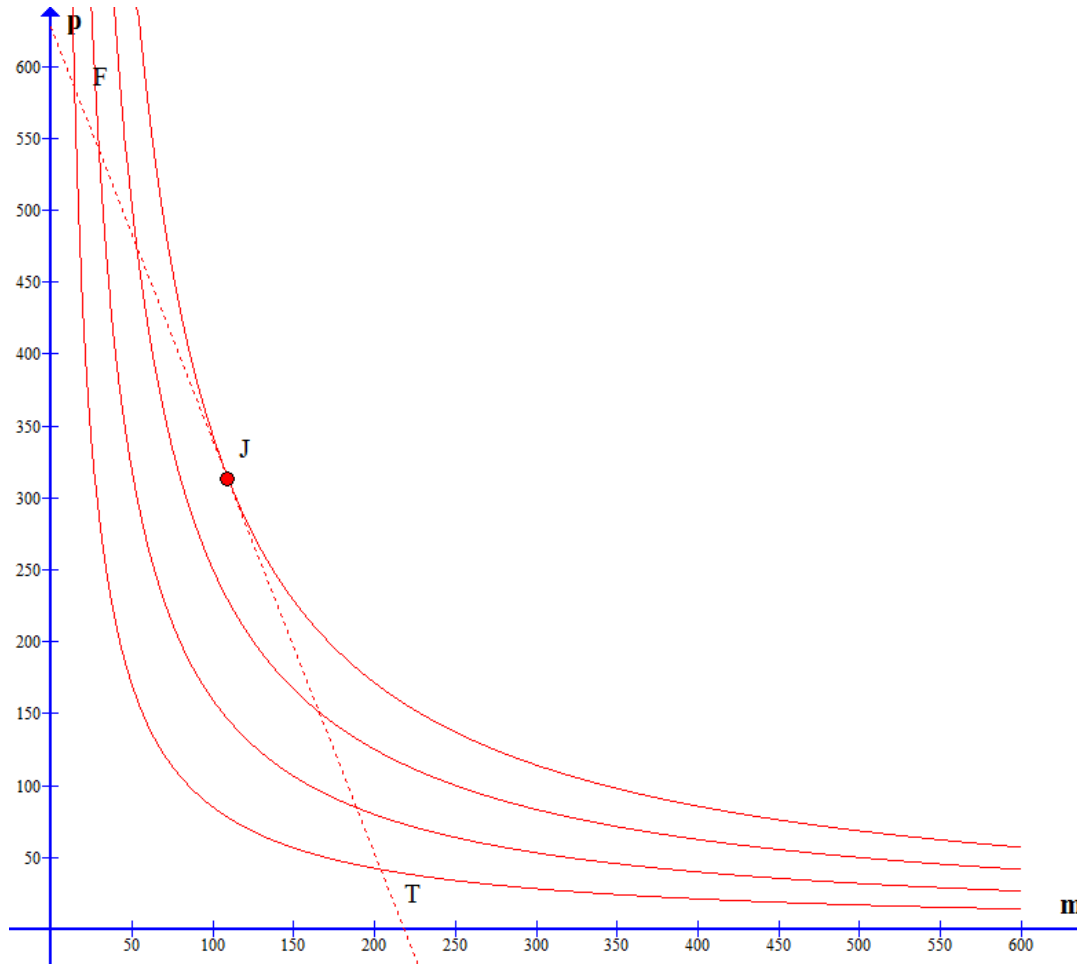


Рис. 1. Графік вирішення задачі оптимізації витрат транспортної підприємства

Функцію-обмеження витрат підприємства з двома компонентами витрат на перевезення продукції запишемо у вигляді

$$D = C_1 m + C_2 p, \quad (2)$$

де C_1 – середня вартість перевезення продукції одним автомобілем на відстань одного кілометра;

C_2 – середня вартість перевезення продукції одним вагоном залізничного транспорту на відстань одного кілометра.

У виразі (2) можуть змінюватися тільки m та p . З цього виразу визначаємо p :

$$p = \frac{C_1}{C_2}m + \frac{D}{C_2}. \quad (3)$$

Формула (3) представляє собою рівняння прямої

$$y = -ax + b,$$

де

$$a = \frac{C_1}{C_2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{D}{C_2}. \quad (5)$$

Припустимо, у нас є карта байдужості. На неї нанесемо графік прямої (3) у вигляді FT (рис. 1). Кут нахилу цієї прямої буде залежати від коефіцієнта a (4). Відстань прямої від початку координат залежить від вільного члена b (5).

Пряма FT є лінією постійних затрат на транспорті, кожна її точка відображає якийсь набір споживання, в якому структурне співвідношення компонентів різне, а сума усіх сумарних затрат однакова і дорівнює витратам D . Корисність варіантів використання транспорту відрізняється. Компанія буде прагнути надавати транспортні послуги таким чином, щоб витрати на транспорт становили деяку величину D та забезпечували найбільшу корисність. Такий вибір відображається точкою J (рисунком 1), яка одночасно належить до прямої постійних витрат та до кривої байдужості. Аналіз показує, що оптимальними співвідношеннями компонентів в наборі споживання є ті, у яких граничні корисності компонентів пропорційні затратам:

$$\frac{\partial U}{\partial C_i} = rP_{C_i}. \quad (6)$$

де r – коефіцієнт пропорційності.

Максимізуємо функцію корисності:

$$U(m, p) = mp \rightarrow \max. \quad (7)$$

Запропоновану задачу можна розв'язати шляхом визначення умовного екстремуму з використанням методу Лагранжа, задавши його як функцію виду:

$$L(m, p, \lambda) = U(m, p) + \lambda(C_1m + C_2p - D), \quad (8)$$

Виходячи з алгоритму методу, знаходимо похідні по m , p та λ і прирівнюємо їх до нуля:

$$\frac{\partial L}{\partial m} = U'_1 + \lambda C_1 = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial p} = U'_2 + \lambda C_2 = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = C_1m + C_2p - D = 0. \quad (10)$$

де $U'_1 = \frac{\partial U(m, p)}{\partial m}$ – гранична корисність перевезень автомобільним транспортним засобом;

$U'_2 = \frac{\partial U(m, p)}{\partial p}$ – гранична корисність перевезень залізничним транспортом.

Виключивши з системи рівнянь невідому λ , отримуємо

$$\frac{U'_1}{U'_2} = \frac{C_1}{C_2}; \quad (11)$$

$$C_1m + C_2p = D. \quad (12)$$

Таким чином, маємо систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{p}{m} = \frac{C_1}{C_2}; \\ C_1m + C_2p = D. \end{cases} \quad (13)$$

Перша умова говорить про те, що сума затрат на перевезення одним і другим засобом повинна бути однаковою, тобто

$$C_1m = C_2p. \quad (14)$$

Тоді, відповідно можна визначити

$$m = \frac{D}{2C_1}, \quad p = \frac{D}{2C_2}. \quad (15)$$

Розв'яжемо задачу для конкретного прикладу функціонування системи

доставки товару до споживачів різними видами транспорту.

Будемо вважати, що підприємство користується послугами декількох автоперевізників та залізничним транспортом. В середньому воно завантажує автомобілі марки MAN, MERCEDES, IVECO з вантажопідйомністю до 10 тонн. Взагалі в середньому підприємство використовує автомобільні транспортні засоби і вагони місткістю по 10 тонн. Об'єм вантажу, який перевозиться автомобільними транспортними засобами, становить від 30 до 40 кубометрів. Вартість перевезення з використанням автотранспорту в середньому складає 16 грн за один кілометр. Середня швидкість становить 45 кілометрів на годину.

Відомо, що завантажений залізничний ешелон їде набагато повільніше, ніж автомобільний транспортний засіб, з середньою швидкістю 36 кілометрів на годину, але вартість його використання набагато менше (0,8 грн за один кілометр). Через цей факт ним часто користаються. Підприємство завантажує в основному вагони з вантажопідйомністю 10 тонн, врахувавши, що товар необхідно перевозити із залізничної станції до пункту розміщення компанії-споживача. Розвантаження та завантаження продукції додатково буде коштувати 200 грн за тонну. Загалом за 10 тонн продукції це складає 2000 грн незалежно від відстані. Львівська компанія деревообробної промисловості торгує по всій Україні. Але середня відстань перевезень буде складати 520 кілометрів. Таким чином з врахуванням відстані, швидкості, вартості перевезення, розвантаження – завантаження, доставки товару автомобільним транспортним засобом від залізничної станції до пункту споживання середня вартість провозу вантажу поїздом буде складати 5,57 грн за один кілометр.

Загальні витрати на провезення вантажу за день складають 3494,34 грн. Виходячи з зазначеного, представимо функцію-обмеження у наступному вигляді:

$$3494,34 = 16m + 5,57p . \quad (16)$$

Тоді

$$m = \frac{3494,34}{2 \times 16} = 109,2, \quad p = \frac{3494,34}{2 \times 5,57} = 313,68 . \quad (17)$$

Таким чином, можна стверджувати, що компанії вигідніше виконувати перевезення залізничним транспортом на відстань 313,68 кілометри і, відпо-

відно, автомобільним транспортом – на відстань 109,2 кілометри. Результати розв’язування задачі представимо графічно на рис. 1, де найоптимальнішою лінією байдужості є лінія, до якої належить точка *J*.

Висновки. В статті викладено проблеми та здобутки деревообробної промисловості. Відмічено нагальну необхідність користуватися залізничним та автомобільним транспортом як при перевезенні сировини, так і при постачанні проміжної і кінцевої продукції компаніями цієї сфери діяльності. Проведено аналіз транспортних систем, необхідних для перевезення певної продукції компанії деревообробної промисловості. Представлено дослідження опцій вибору певного виду транспорту. В результаті поставлено задачу знаходження умовного екстремуму від функції корисності з обмеженням у вигляді лінійної функції. Визначено, що оптимальним для компанії є здійснення перевезень залізничним транспортом на відстань 313,68 кілометри і, відповідно, автомобільним транспортом – на відстань 109,2 кілометри.

Список використаних джерел:

1. Экспорт древесины или мебели? Экономическая правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2019/02/15/645030/>

2. Озарків І. М., Мисак Й. С., Соколовський І. А. Використання лазерних комплексів для різання та декоративної обробки деревини : [монографія] / М-во освіти і науки України, Нац. лісотехн. ун-т України, Нац. ун-т «Львів. Політехніка», Л.: «Укр. Технології», 2011, 120 с.

3. Білоус М.М., Виговський А.Й. Аналіз лісотранспортної логістики в умовах ВП НУБІП України «Боярська лісова дослідна станція». ScientificWorldJournal, Issue No14, Vol.2, URL: <https://www.sworld.com.ua/konferbel1/46.pdf>.

4. Савченко Л. А. Розробка транспортно-виробничого процесу перевезення продукції деревообробної промисловості. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, 2016, Вип. 10(3), С. 153-155. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2016_10\(3\)_35](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2016_10(3)_35).

5. Танцюра Ю.А. Касьянова Н.В. Оптимізація транспортних потоків підприємства. Східна Європа: економіка, бізнес та управління, Випуск 2 (19), 2019, ст. 434-439, URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/07/Tantsyura-Yu.A.-Kasyanova-N.V.pdf>.

6. Закон України «Про ринок деревини» (Проект) від 28.05.2020. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JI02226A.html

7. Сайт компанії «Світ дерев’яних виробів». URL:

<https://www.marketderevo.com.ua/poslugy-vstanovlennya/>.

8. Крикавський Є. В., Похильченко О. А. Концепція кластера у формуванні потенціалу конкурентоздатності деревообробних підприємств : монографія, М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. Політехніка», Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2012, 352 с.

9. Лужняк В. Капітальні інвестиції в деревообробну галузь. Деревообробник, 2012, № 12, с. 3.

References:

1. Export of wood or furniture? Economic truth. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2019/02/15/645030/>

2. Ozarkiv I.M., Mysak J.S., Sokolovsky I.A. The Use of laser complexes for cutting and decorative processing of wood: [monograph] / Ministry of Education and Science of Ukraine, Nat. forestry technician University of Ukraine, Nat. University "Lviv. Polytechnic", L.: "Ukr. Technologies", 2011, 120 p.

3. Belous MM, Vygovsky AY Analysis of forest transport logistics in the conditions of SS NUBIP of Ukraine "Boyarskaya Forest Research Station". Scientific World Journal, No14, Vol.2, URL: <https://www.sworld.com.ua/konferbell/46.pdf>.

4. Savchenko L A Development of transport and production process of transportation of woodworking products. Visnyk of Sumy National Agrarian University. Series: Mechanization and automation of production processes, 2016, № 10 (3), p. 153-155, URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2016_10\(3\)__35](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2016_10(3)__35).

5. Tantsyura Yu.A., Kasyanova N.V. Optimization of transport flows of the enterprise. Eastern Europe: Economics, Business and Management, Issue 2 (19), 2019, pp. 434-439, URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/07/Tantsyura-Yu.A.-Kasyanova-N.V.pdf>.

6. Law of Ukraine "On the Wood Market" (Draft) of 28.05.2020. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JI02226A.html.

7. The site of the company "World of Wooden Products". URL: <https://www.marketderevo.com.ua/poslugy-vstanovlennya/>.

8. Krykavsky E.V., Pokhilchenko O.A. The concept of the cluster in the formation of the competitiveness potential of woodworking enterprises: a monograph, Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Nat. University "Lviv. Polytechnic", L.: Lviv Publishing House. Polytechnic, 2012, 352 p.

9. Luzhnyak V. Capital investments in the woodworking industry. Woodworker, 2012, № 12, p. 3.

О. Д. Фірсов, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

О. В. Трофімов, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів

ПРОСТОРОВІ МОДЕЛІ ТЕОРІЇ НЕПЕРЕРВНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗБИТТЯ МНОЖИН

В теорії неперервних задач оптимального розбиття множин (ОРМ) було отримано ряд фундаментальних результатів. Розроблено методи та алгоритми розв'язання багатопродуктових, лінійних і нелінійних, стохастичних і динамічних задач оптимального розбиття множини із заданими і незаданими координатами центрів підмножин. Різноманітність початкових даних, що включають інформацію про властивості множини, обмеження на ті чи інші параметри задачі і критерії якості, визначає широке коло прикладних задач розбиття. Сучасні транспортні процеси характеризуються високими швидкостями, в них беруть участь нові транспортні засоби. Відповідно, виникає необхідність в аналізі не тільки самої траєкторії переміщення, але й властивостей цієї траєкторії. В роботі досліджені задачі оптимального розбиття ділянки просторової кривої, які є окремими випадками неперервної задачі ОРМ з розміщенням центрів підмножин. Запропоновано нові формулювання задач ОРМ для окремих випадків. Кожна задача являє собою узагальнення попередньої. Функція вартості інтерпретується як геометрична характеристика кривої. Враховується вплив кривизни і кручення на вартість переміщення. Фактично вводиться нова метрика для даного класу задач. Показано, що в таких постановках можливо проінтегрувати цільову функцію і отримати задачу класичного типу. Загальний підсумок проведених досліджень можна сформулювати як врахування під час переміщення не тільки довжини траєкторії, але і вартості маневрування уздовж цієї траєкторії в рамках задачі оптимального розбиття

© О. Д. Фірсов, О. В. Трофімов, 2020

множин з розміщенням центрів. Врахування геометричних характеристик переводить описані задачі ОРМ в прикладну область. Сучасні вимоги під час переміщення вантажів вимагають обліку максимального числа факторів, що впливають на процес, а це означає, що потрібні дані і залежності всередині самого процесу. В даному випадку це геометрія траєкторій; наступний крок – це фізика процесу, взаємодія з дорогою або повітряним простором.

Ключові слова: оптимальне розбиття множин, параметрично задані криві, траєкторії переміщення вантажів.

В работе исследованы задачи оптимального разбиения участка пространственной кривой, которые являются частными случаями непрерывной задачи ОРМ с размещением центров подмножеств. Предложены новые формулировки задач ОРМ для частных случаев. Каждая задача представляет собой обобщение предыдущей. Функция стоимости интерпретируется как геометрическая характеристика кривой. Учитывается влияние кривизны и кручения на стоимость перемещения. Фактически вводится новая метрика для данного класса задач. Показано, что в таких постановках возможно проинтегрировать целевую функцию и получить задачу классического вида. Общий итог проведенных исследований можно сформулировать как введение в учет при перемещении не только длины траектории, но и стоимости маневрирования вдоль этой траектории в рамках задачи оптимального разбиения множеств с размещением центров. Учет геометрических характеристик переводит описанные задачи ОРМ в прикладную область. Современные требования при перемещении грузов требуют учета максимального числа факторов, влияющих на процесс, а это означает, что требуются данные и зависимости внутри самого процесса. В данном случае это геометрия траекторий; следующий шаг – это физика процесса, взаимодействие с дорогой или воздушным пространством.

Ключевые слова: оптимальное разбиение множеств, параметрически заданные кривые, траектории перемещения грузов.

The paper investigates the problems of optimal partitioning of a section of a spatial curve, which are special cases of a continuous Optimal Partitioning Sets (OPS) problem with the determination of location of the centers of subsets. New formulations of OPS problems for special cases are proposed. Each problem is a generalization of the previous one. The cost function is interpreted as the geometric characteristic of the curve. The effect of curvature and torsion on the cost of movement is considered. In fact, a new metric is introduced for this class of problems. It is shown that in such formulations it is possible to integrate the

objective function and obtain a problem of the classical form. The overall result of the studies carried out in this work can be formulated as taking into account during the motion not only the length of the trajectory, but also the cost of maneuvering along this trajectory in the framework of the OPS problem with obtaining the placement of centers. Taking into account the geometric characteristics transfers the described OPS problem to the applied field. Modern requirements for the goods transfer require taking into account the maximum number of factors affecting the process, which means that data and dependencies are required within the process itself. In this case, it is the geometry of the trajectories; the next step is the physics of the process, interaction with the road or airspace.

Keywords: optimal partitioning sets, parametric curves, cargo moving trajectories.

Постановка проблеми. Розв'язання прикладних оптимізаційних задач з області логістики, будівництва, управління, дозволяють навіть при невеликих в процентному відношенні модифікаціях, економити значні матеріальні та часові ресурси. Отримання ж все більш ефективних рішень вимагає побудови більш складних математичних моделей досліджуваних систем з урахуванням максимального числа значущих чинників. Така ситуація, в свою чергу, має на увазі використання строгого математичного апарату, що базується на чіткій формальній стороні і інструментах прикладного застосування. Одним з таких апаратів є теорія неперервного оптимального розбиття множин (ОРМ) [10].

За останні десятиліття в теорії неперервних задач оптимального розбиття множин (ОРМ) було отримано ряд фундаментальних результатів. Розроблено методи та алгоритми розв'язання багатопродуктових, лінійних і нелінійних, стохастичних і динамічних задач оптимального розбиття множини з заданими і незаданими координатами центрів підмножин. Було отримано розв'язки прикладних задач з області моніторингу екології промислових регіонів, територіального планування сфер обслуговування. В окремий напрямок склалися задачі управління технологічними процесами [1, 4] та ін.

Різноманітність початкових даних, що включають інформацію про властивості множини, обмеження на ті чи інші параметри задачі і критерії якості, визначає широке коло прикладних задач розбиття. Що, в свою чергу, дозволяє говорити про перспективність подальших досліджень, як в

напрямку розвитку теоретичної бази, так і знаходити власні шляхи розв'язання конкретних задач.

Сучасні транспортні процеси характеризуються високими швидкостями, в них беруть участь нові транспортні засоби. Відповідно виникає необхідність в обліку не тільки самої траєкторії переміщення, але і властивостей цієї траєкторії. Якщо мова йде про автомобільну високошвидкісну трасу, то для забезпечення безпеки і швидкості, мінімізації відстаней уздовж доріг необхідно враховувати траєкторію і кривизну поверхні. Аналогічна проблема виникає і при будівництві залізничного полотна. І найскладніший випадок – це регулярний розрахунок траєкторії польоту малих безпілотних літальних апаратів в умовах міської забудови.

Аналіз досліджень і публікацій. Теорія неперервних задач ОРМ ґрунтується на єдиному підході, розробленому професором Кисельовою О.М. і розвиненому її науковою школою. Суть підходу полягає в зведенні вихідних нескінченновимірних задач оптимізації через функціонал Лагранжа до негладких, як правило, скінченновимірних, задач оптимізації. Для чисельного розв'язання, використовуються ефективні методи не диференційовної оптимізації.

Виділяють такі основні напрямки розвитку теорії неперервних завдань ОРМ: лінійні задачі ОРМ; нелінійні задачі ОРМ; задачі ОРМ в умовах невизначеності [6]. Розвитком цих результатів стали дослідження задач оптимального покриття неперервних множин кулями [2], динамічних задач оптимального розбиття множин з розміщенням і без розміщення центрів підмножин, задач управління границями множин [3, 4, 5]. Отримано розв'язки задач управління розподіленими системами, які є окремими випадками неперервних динамічних задач оптимального розбиття множин.

Теорія оптимального розбиття множин застосовується в задачах штучного інтелекту: розпізнавання образів, аналізу та ідентифікації систем, управління розподіленими системами, в яких допустима область управлінь визначається розбиттям деякої множини на кінцеве число підмножин.

Окремо слід виділити зарубіжні дослідження на основі розбиття множин, які, як правило, використовують діаграми Вороного [7, 8, 9]. Теорія оптимального розбиття розглядає діаграми Вороного в якості окремого випадку задач ОРМ. Обґрунтування теоретичних основ побудови діаграм Вороного за допомогою методів оптимального розбиття множин наведено в

серії робіт [10]. В [11] запропоновано узагальнення розбиття Вороного, яке називається EBVP (Effectiveness-Based Voronoi Partition), шляхом введення концепції вузлових функцій для вимірювання відстаней. З EBVP було запропоновано узагальнене середовище для формулювання задач оптимального розміщення.

Прикладом розробки алгоритмів розв'язання задач розбиття може бути робота [12]. Прикладним результатам в області технологій і логістики присвячені роботи [14, 15, 16].

В роботі [13] досліджено три задачі оптимального розбиття ділянки плоскої кривої, які є окремими випадками неперервної задачі ОРМ з розміщенням центрів підмножин. Запропоновано нові формулювання задач ОРМ для окремих випадків. Кожна задача являє собою узагальнення попередньої. У першій задачі функція вартості інтерпретується як довжина радіус-вектора на кривій. Далі враховується вплив довжини і кривизни на вартість переміщення. Фактично вводиться нова метрика для даного класу задач. Показано, що в таких постановках можливо проінтегрувати цільову функцію і отримувати задачу класичного типу.

У попередніх роботах було показано, як задачі ОРМ можуть бути застосовані на практиці в різних областях, зокрема при оптимізації розміщення центрів на плоскій кривій з різними параметрами відповідної моделі. Відповідно виникає інтерес з точки зору теоретичних перспектив і практичного застосування розбиття ділянок просторової кривої.

Мета роботи. У даній роботі досліджено задачі оптимального розбиття ділянки просторової кривої, які є окремими випадками неперервної задачі ОРМ з розміщенням центрів підмножин.

Результати дослідження. Розглянемо класичну постановку задачі оптимального розбиття множин.

Задача A2. Нехай Ω – обмежена, вимірна за Лебегом множина в n -вимірному евклідовому просторі E_n . Позначимо через $P_N(\Omega)$ клас усіх можливих розбиттів множини Ω на N підмножин:

$$\hat{P}_N(\Omega) = \left\{ \bar{\omega} = (\Omega_1, \dots, \Omega_N) : \Omega_i \subseteq \Omega, i = \overline{1, N}; \bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega; \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset, i \neq j; i, j = \overline{1, N} \right\}$$

Потрібно визначити розбиття $\bar{\omega}^* \in \hat{P}_N(\Omega)$ і набір "центрів" підмножин

$\tau^* = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N) \in \Omega^N$, що доставляють мінімальне значення функціоналу

$$F(\bar{\omega}, \tau) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} (c(x, \tau_i) + a_i) \rho(x) dx.$$

Тут $c(x, \tau_i)$ – дійсні, обмежені, визначені на $\Omega \times \Omega$, вимірні по x при будь-якому фіксованому $\tau_i \in \Omega$ ($\forall i=1, \dots, N$) функції; $\rho(x)$ – обмежена, невід'ємна, вимірна на Ω функція; a_i ($\forall i=1, \dots, N$) – задані невід'ємні величини.

Розглянемо випадок, коли множина Ω є частиною просторової кривої, заданої на інтервалі параметрично: $x=x(t)$, $y=y(t)$, $z=z(t)$; при цьому параметр t може змінюватися дискретно через рівні інтервали. З міркувань практики на функцію з неперервним параметром t накладаються обмеження у вигляді неперервності і диференційованості.

Сформульована в попередній роботі [13] задача A2L для ділянки плоскої кривої відповідала такому припущенню. У випадку роботи з транспортними комунікаціями, пересування ресурсів для їх будівництва або безпосереднє функціонування з метою транспортування буде здійснюватися лише по ним же. Наприклад, підвезення матеріалів на споруджуваній дорозі, найімовірніше, здійснюється по її готових ділянках [13], або транспортування вуглеводнів можливе тільки по системі трубопроводів (з точки зору моделі системи). Очевидно, що комунікації розташовуються не тільки на площині, і, відповідно виникає необхідність розв'язання просторового аналога раніше дослідженої задачі. У разі перевезення вантажу за допомогою легкого БПЛА, коли розміри вантажу перевищують вантажопідйомність (звичайно якщо вантаж ділимо на відповідні частини) також виникає ряд просторових задач, які зручно формулювати в термінах ОРМ.

Сформулюємо нову постановку задачі для випадку просторової кривої.

Задача A2L³. Нехай $\Omega = \{(x, y, z) : t_1 \leq t \leq t_2; x=x(t), y=y(t), z=z(t)\}$, де $x=x(t), y=y(t), z=z(t)$ – дійсна, обмежена, диференційована, визначена на $[a, b]$ функція. Необхідно знайти розбиття $\bar{\omega}^* \in \hat{P}_N(\Omega)$ і набір "центрів" підмножин, визначених точками відрізка $[a, b]$ $\tau^* = (\tau_1^*, \tau_2^*, \dots, \tau_N^*) \in [a, b]^N$, що доставляють мінімальне значення функціоналу

$$F(\bar{\omega}, \tau) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \left| \int_{\tau_i}^x \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} \rho(t) dt \right| dx,$$

де $\left| \int_{\tau_i}^x \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} \rho(t) dt \right|$ – довжина дуги кривої від центру τ_i до точки x , $\rho(x)$ – задана дійсна, обмежена на $[a, b]$ функція (далі без втрати загальності будемо вважати $\rho(x)=1$).

Як і в роботі [1], використовуємо характеристичні функції $\lambda_1(\cdot), \dots, \lambda_N(\cdot)$ підмножин $\Omega_1, \dots, \Omega_N$, і від сформульованої задачі переходимо до еквівалентної задачі нескінченновимірною програмування:

$$I(\lambda(\cdot), \tau) = \sum_{i=1}^N \int_a^b \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} \lambda_i(x) dx \rightarrow \min_{(\lambda(\cdot), \tau) \in \Lambda_1 \times [a, b]^N}, \quad (1)$$

де $\Lambda_1 = \{\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) : \sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1 \text{ п. в. для } x \in \Omega; \lambda_i(x) = 0 \vee 1; \text{ п. в.}$

для $x \in \Omega; i = \overline{1, N}$. Аналітичний вираз для першої компоненти $\lambda^*(\cdot)$ оптимального розв'язку $(\lambda^*(\cdot), \tau^*)$ задачі (1) може бути отримано для кожного фіксованого $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$ у вигляді

$$\lambda_i^*(x) = \begin{cases} 1, & \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} = \min_{i=1, N} \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} \\ 0, & \text{для решти випадків, } i = \overline{1, N} \end{cases}$$

Далі розв'язуємо задачу скінченновимірної оптимізації

$$G(\tau) = \int_a^b \min_{k=1, N} \sqrt{x'(t) + y'(t) + z'(t)} \rho(x) dx \rightarrow \min_{\tau \in [0, 1]^N}, \quad (2)$$

цільова функція якої є в загальному випадку багатоекстремальною і не диференційованою. Розв'язок задачі (2) може бути отримано за допомогою алгоритму A2 [1,3], або застосуванням різновиду еволюційного алгоритму. Для окремих випадків ефективно працює перебір розв'язків на сітці.

Як приклад розглянемо розбиття прямої в просторі, гвинтової лінії і дуги у просторі. Очевидно, розбиття прямої в просторі повинно збігатися з відомими розв'язками для прямої на площині і відрізка [6].

Параметричне рівняння прямої в просторі має вигляд:

$$x(t)=a_x t+b_x; y(t)=a_y t+b_y; z(t)=a_z t+b_z;$$

без втрати загальності прийемо $a_x, a_y, a_z=1$, $b_x, b_y, b_z=0$;

тоді функціонал задачі $A2L^3$, прийме вигляд:

$$F(\bar{\omega}, \tau) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \left| \int_{\tau_i}^x \sqrt{3} d\xi \right| dx, \text{ або } F(\bar{\omega}, \tau) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \sqrt{3} |x - \tau_i| dx,$$

тобто, приходимо до дослідженому у [6] випадку.

Параметричне рівняння гвинтової лінії в загальному вигляді можна задати так:

$$x(t) = A_1 \sin \gamma t + A_2 \cos \gamma t,$$

$$y(t) = B_1 \sin \gamma t + B_2 \cos \gamma t,$$

$$z(t) = Ct + C_1;$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1 - C^2}{r^2}};$$

де r – радіус циліндра. Розглянемо приклад: $x(t) = r \cos \pi t$, $y(t) = r \sin \pi t$, $z(t) = t$; з початком у точці $(r, 0, 0)$, і кінцем у точці $(r, 0, 2r)$. Запишемо функціонал задачі $A2L^3$ у вигляді

$$\begin{aligned} F(\bar{\omega}, \tau) &= \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \left| \int_{\tau_i}^x \sqrt{(-\pi r \sin(\pi t))^2 + (\pi r \cos(\pi t))^2 + 1} dt \right| dx = \\ &= \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \sqrt{2\pi^2 r^2 + 1} |x - \tau_i| dx, \end{aligned}$$

таким чином, знову приходимо до дослідженого випадку.

Аналогічно будується розрахунок для інших параметричних кривих у просторі.

Дещо інша ситуація виникає у випадку, коли крива задана таблично; механізм пошуку зберігається, але розв'язок шукається чисельно.

Ще одною характеристикою, яка може вплинути на вартість переміщення об'єкта вздовж просторової кривої, є кручення. Його врахування виконується як додатковий доданок в функціоналі.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Загальний підсумок проведених в цій та попередній [13] роботі досліджень можна сформулювати як введення у врахування під час переміщення не тільки довжини

траєкторії, але і вартості маневрування уздовж цієї траєкторії в рамках задачі оптимального розбиття множин з розміщенням центрів. Врахування геометричних характеристик переносить описані задачі ОРМ в прикладну область. Сучасні вимоги під час переміщення вантажів вимагають врахування максимального числа факторів, що впливають на процес, а це означає, що вимагаються дані і залежності всередині самого процесу. В даному випадку це геометрія траєкторій, наступний крок – це фізика процесу, взаємодія з дорогою або повітряним простором. Звичайно, може скластися ідеальна ситуація, коли відомі інтегральні вартості переміщення з точки в точку, наприклад з досвіду. Тоді задача A2 не вимагає уточнень. Задача A2 заснована на постулаті існування тільки маятникових маршрутів, що справедливо для множини задач, але далі виникає питання застосування кільцевих маршрутів, які також повинні враховувати параметри процесу з предметної галузі.

Список використаних джерел:

1. Ус, С.А. О моделях оптимального разбиения множеств в условиях неопределенности // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – 2010. – С.320-326.
2. Киселева, Е.М. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств / Е.М. Киселева, Л.И. Лозовская, Е.В. Тимошенко // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №3. – С.98–117.
3. Киселева, Е. М. О решении динамической задачи оптимального разбиения множеств с размещением центров подмножеств / Е. М. Киселева, Л. С. Коряшкіна, Т. А. Шевченко // Кибернетика и систем. анализ. – 2014. – № 6. – С. 29–40.
4. Shevchenko T. The features of solving of the set partitioning problems with moving boundaries between subsets / T. Shevchenko, E. Kiseleva, L. Koriashkina // Operations Research Proceedings 2008. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009. – P. 533–538.
5. Коряшкіна Л. С. Нові підходи до розв'язання динамічної задачі оптимального розбиття множин / Л. С. Коряшкіна, Т. О. Шевченко // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Д.: ДНУ, 2009. – С. 220–231.
6. Киселева Е.М. Непрерывные задачи оптимального разбиения мно-

жеств и Γ -алгоритмы Монография / *Е.М.Киселева, Л.С.Коряшкіна*. К.: Наукова Думка, 2015.-400 с

7. *Bakolas E., Tsiotras P. The Zermelo. Voronoi diagram: a dynamic partition problem //Automatica. –2010. –N12. –P. 2059–2067.*

8. *Balzer M. Capacity-constrained Voronoi diagrams in continuous spaces // The International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering. –2009. –10p.*

9. *Jooyandeh Mohammadreza, Mohades Ali, Mirzakhah Maryam. Uncertain Voronoi diagram // Information Processing Letters. – 2009. –109, N13. – P. 709–712.*

10. *Kiseleva E.M., Koriashkina L.S. Theory of Continuous Optimal set Partitioning Problems as a Universal Mathematical Formalism for Constructing Voronoi Diagrams and Their Generalizations // Cybernetics and Systems Analysis, – 2015. – P. 325–335.*

11. *Guruprasad K. R. Effectiveness-based Voronoi partition: a new tool for solving a class of location optimization problems / K. R. Guruprasad // Optimization Letters. – 2013. – Vol. 7. – P. 1733–1743.*

12. *Xibin Zhao, Hehua Zhang, Yu Jiang, Songzheng Song, Xun Jiao, and Ming Gu. An Effective Heuristic-Based Approach for Partitioning// Journal of Applied Mathematics. Volume 2013 (2013), Article ID 138037, 8 pages*

13. *Firsov A. Study of the mathematical models of optimal partitioning for particular cases. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes, – 2018 4(91). Vol 1. 69-76 DOI: 10.15587/1729-4061.2018.123261*

14. *Koriashkina L., Saveliev V., Zhelo A. On Mathematical Models of Some Optimization Problems Arising in the Production of Autoclaved Aerated Concrete // Advanced Engineering Forum. –2017. – P.173–181.*

15. *Lau B., Sprunk C., Burgard W. Efficient grid-based spatial representations for robot navigation in dynamic environments // Robotics and Autonomous Systems. – 2013. – 61, N 10. – P. 1116–1130.*

16. *Us S., Stanina O. The Methods and Algorithms for Solving Multi-stage Location-allocation Problem / Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control:2016 Annual Proceedings CRC Press, –2017.*

References:

1. Us, S.A. O modelyakh optimal'nogo razbiyeniya mnozhestv v usloviyakh neopredelennosti [On models of optimal partitioning of sets under uncertainty] //

Pytannya prykladnoyi matematyky i matematychnoho modelyuvannya [Questions of applied mathematics and mathematical modeling]. 2010. pp.320-326. [Ukraine].

2. *E.M. Kiseleva, L.I. Lozovskaya, E.V. Timoshenko*. Resheniye nepreryvnykh zadach optimal'nogo pokrytiya sharami s ispol'zovaniyem teorii optimal'nogo razbiyeniya mnozhestv. [Solution of continuous problems of optimal covering by balls using the theory of optimal partitioning of sets] *Kibernetika i sistemnyy analiz*. [Cybernetics and Systems Analysis]. 2009.vol. 3. pp.98–117. [Ukraine].

3. *E. M. Kiseleva, L. S. Koryashkina, T. A. Shevchenko*. O reshenii dinamicheskoy zadachi optimal'nogo razbiyeniya mnozhestv s razmeshcheniyem tsentrov podmnozhestv [On the solution of the dynamic problem of optimal partitioning of sets with the location of centers of subsets]. *Kibernetika i sistemnyy analiz*. [Cybernetics and Systems Analysis]. 2014. vol. 6. pp. 29–40. [Ukraine].

4. *T. Shevchenko, E. Kiseleva, L. Koriashkina*. The features of solving of the set partitioning problems with moving boundaries between subsets. *Operations Research Proceedings 2008*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009. pp. 533–538.

5. *L. S. Koryashkina, T. O. Shevchenko*. Novi pidkhody do rozv'yazannya dynamichnoyi zadachi optymal'noho rozbyttya mnozhyn [New approaches to solving the dynamic problem of optimal partitioning]. *Pytannya prykladnoyi matematyky i matematychnoho modelyuvannya* [Questions of applied mathematics and mathematical modeling]. 2009. pp. 220–231. [Ukraine].

6. *E.M.Kiseleva, L.S.Koryashkina*. Nepreryvnyye zadachi optimal'nogo razbiyeniya mnozhestv i r-algoritmy [Continuous problems of optimal set partitioning and r-algorithms]. Kyiv. Naukova Dumka, 2015. 400p. [Ukraine].

7. *Bakolas E., Tsiotras P*. *The Zermelo*. Voronoi diagram: a dynamic partition problem. *Automatica*. 2010. vol.12. pp. 2059–2067.

8. *Balzer M*. Capacity-constrained Voronoi diagrams in continuous spaces. *The International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering*. 2009. 10p.

9. *Jooyandeh Mohammadreza, Mohades Ali, Mirzakhah Maryam*. Uncertain Voronoi diagram. *Information Processing Letters*. 2009. vol. 109, N13. pp.709–712.

10. *Kiseleva E.M., Koriashkina L.S*. Theory of Continuous Optimal set Partitioning Problems as a Universal Mathematical Formalism for Constructing Vo-

ronoi Diagrams and Their Generalizations./ Cybernetics and Systems Analysis, 2015. pp. 325–335.

11. *Guruprasad K. R.* Effectiveness-based Voronoi partition: a new tool for solving a class of location optimization problems. Optimization Letters. 2013. Vol. 7. Pp. 1733–1743.

12. *Xibin Zhao, Hehua Zhang, Yu Jiang, Songzheng Song, Xun Jiao, and Ming Gu.* An Effective Heuristic-Based Approach for Partitioning. Journal of Applied Mathematics. Volume 2013 (2013), Article ID 138037, 8 pages.

13. *Firsov A.* Study of the mathematical models of optimal partitioning for particular cases. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes, 2018 4(91). Vol 1. 69-76 DOI: 10.15587/1729-4061.2018.123261.

14. *Koriashkina L., Saveliev V., Zhelo A.* On Mathematical Models of Some Optimization Problems Arising in the Production of Autoclaved Aerated Concrete. Advanced Engineering Forum. 2017. Pp.173–181.

15. *Lau B., Sprunk C., Burgard W.* Efficient grid-based spatial representations for robot navigation in dynamic environments. Robotics and Autonomous Systems. 2013. 61, Vol. 10. Pp. 1116–1130.

16. *Us S., Stanina O.* The Methods and Algorithms for Solving Multi-stage Location-allocation Problem. Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control: 2016. Annual Proceedings CRC Press. 2017.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.5>

УДК 004.054:052.42

О. А. Руденко, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

А. В. Головки, інженер-програміст Науково-виробничого підприємства «Радікс», студент Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

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

УДОСКОНАЛЕННЯ СТЕНДУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ ФУНКЦІЙ FPGA КОМПОНЕНТІВ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ПЛАТФОРМИ RADICS

У статті показана роль стадії тестування і відлагодження у життєвому циклі програмних продуктів при оцінці їх надійності. Виділені етапи тестування апаратно-програмних комплексів. Проаналізовані дослідження, спрямовані на оптимізацію стадії тестування і відлагодження програмних продуктів. Розглянуто характеристики факторів, врахування яких при тестуванні підвищує точність оцінки надійності програмних продуктів. Визначені особливості моделювання, спрямовані на створення засобів тестування програмних продуктів. Виконано опис архітектури платформи RadICS. Продемонстровано приклад розробки алгоритму для перевірки якості та надійності функцій блоків бібліотеки AFBL. Проаналізовано конфігурацію випробувального стенду з ручним тестуванням та запропоновано його модифікацію на основі обладнання та програмного забезпечення компанії National Instruments.

Ключові слова: якість та надійність програмного забезпечення, валідація, Application Logic, автоматизація процесу тестування, NI Test Stand, життєвий цикл програмних продуктів, FPGA, Radiy Platform Configuration Tool, AFBL.

© О. А. Руденко, А. В. Головки, Ю. Л. Поночовний, 2020

В статье показана роль стадии тестирования и отладки в жизненном цикле программных продуктов при оценке их надежности. Выделены этапы тестирования аппаратно-программных комплексов. Проанализированы исследования, направленные на оптимизацию стадии тестирования и отладки программных продуктов. Рассмотрены характеристики факторов, учет которых при тестировании повышает точность оценки надежности программных продуктов. Определены особенности моделирования, направленные на создание средств тестирования программных продуктов. Выполнено описание архитектуры платформы RadICS. Продемонстрирован пример разработки алгоритма для проверки качества и надежности функций блоков библиотеки AFBL. Проанализированы конфигурации испытательного стенда с ручным тестированием и предложена его модификация на основе оборудования и программного обеспечения компании National Instruments.

Ключевые слова: качество и надежность программного обеспечения, валидация, Application Logic, автоматизация процесса тестирования, NI Test Stand, жизненный цикл программных продуктов, FPGA, Radix Platform Configuration Tool, AFBL.

The article shows the role of the testing and debugging stage in the life cycle of software products in assessing their reliability. Stages of testing of hardware and software complexes are allocated. The researches directed on optimization of a stage of testing and debugging of software products are analyzed; in which the characteristics of the method of accelerated testing of software reliability for graphical interfaces are considered and generalized; the division into stages of testing with comparison of results with model indicators is offered; the influence of test information on the assessment of software reliability is considered and the function of test coverage in the form of the generalized logistic function is offered. The characteristics of the factors, the consideration of which during testing increases the accuracy of assessing the reliability of software products, are considered. Features of modeling aimed at creating tools for testing software products are identified. Describes the architecture of the RadICS platform, which consists of a single instrument chassis containing a logic module, as well as up to fourteen other input/ output and fiber-optic modules. Application Logic for the RadICS platform are developed using a specialized Integrated Development Environment - Radix Platform Configuration Tool. In this Integrated Development Environment, each Application Logic Block is represented graphically using visualization tools, which simplifies the management of functions (logical, mathematical, etc.). The Application Logic Block set in the Radix Plat-

form Configuration Tool creates a function block library (AFBL) and consists of more than one hundred block elements. An example of algorithm development for checking the quality and reliability of AFBL library block functions is demonstrated. The configuration of the test bench with manual testing is analyzed and its modification on the basis of the equipment and software of the National Instruments company is offered.

Keywords: software quality and reliability, validation, Application Logic, test process automation, NI Test Stand, software lifecycle, FPGA, Radiy Platform Configuration Tool, AFBL.

Вступ. Бурхливий розвиток індустрії автоматизованих систем потребує нових підходів до створення технологій та вдосконалення наявних. При цьому зростає роль програмного забезпечення та вимоги до його надійності. Надійність є ключовою складовою якості, що регламентується рядом нормативних документів та міжнародних стандартів [1, 2].

На всіх етапах життєвого циклу програмних продуктів проводяться процедури, спрямовані на забезпечення їх надійності, що потребує матеріальних і часових затрат.

Ключовим етапом життєвого циклу програмних продуктів, в процесі забезпечення надійності, є стадія тестування і відлагодження. Стадія тестування має, в загальному випадку, свій «життєвий цикл», що містить ряд ітерацій:

- загальне планування і аналіз вимог;
- уточнення критеріїв приймання;
- уточнення стратегії тестування;
- розроблення тест-кейсів;
- виконання тест-кейсів;
- фіксація виявлених дефектів;
- аналіз результатів тестування;
- складання звітності.

Вимоги до проведення тестування та відлагодження програмних продуктів визначаються міжнародними стандартами [3-6], методи і принципи тестування описані в ряді навчальних посібників [7, 8].

Питання оптимізації стадії тестування і відлагодження програмних продуктів знайшли відображення у роботах [9-12], зокрема, в [9] розглянуті та узагальнені характеристики методу прискореного тестування надійності

програмного забезпечення для графічних інтерфейсів; в [10] запропоновано розбиття на етапи тестування з порівнянням результатів з модельними показниками; в [11] розглядається вплив тестової інформації на оцінку надійності програмного забезпечення; в [12] запропонована функція тестового покриття у вигляді узагальненої логістичної функції, що описує зміну тестового покриття під час тестової процедури.

Питання урахування різних факторів, необхідних при проведенні тестування розглядаються у роботах [13-18]. В [13] запропоновано включення S-подібних функцій тестування в модель надійності програмного забезпечення, що враховує недосконале відлагодження. В [14] розглянуте присвоєння імовірнісних пріоритетів механізму тестування, що здійснюється за допомогою робочого профілю програмного забезпечення. Це дослідження спрямоване на створення тестових кейсів та тестових наборів з точки зору ймовірнісної надійності, використовуючи запропоновану структуру, засновану на робочому профілі програмного забезпечення та профілі тестування. В [15-18] розглянуті різні підходи до оцінки надійності програмних засобів, що враховують фактор вторинних дефектів.

У дослідженнях [7, 9] показано, що скорочення тривалості етапів тестування можливе або шляхом створення спеціальних умов випробування, або через автоматизацію та прискорення виконання окремих фаз тестування, які, як правило, виконуються у ручному режимі.

Мета. Метою публікації є вдосконалення стенду тестування функцій FPGA компонентів апаратно-програмних комплексів платформи RadICS для підвищення ступеня автоматизації процесів тестування та скорочення їх тривалості.

1. Аналіз апаратних засобів платформи RadICS. Платформа RadICS являє собою модульну платформу і містить стандартизовані модулі, такі як логічний модуль, цифрові та аналогові модулі вводу/виводу (I/O), базуються на використанні мікросхем програмованої логіки (FPGA). Обладнання платформи RadICS встановлено більш ніж в 70 основних системах безпеки та управління на діючих атомних електростанціях (АЕС) різних країн світу.

Архітектура платформи RadICS складається з єдиного приладового шасі, що містить логічний модуль (LM), а також до 14 інших модулів вводу-виводу та оптоволоконного зв'язку. Ця одноканальна конфігурація є базовою конфігурацією інформаційно-керуючих систем (ІКС). Для систем ава-

рійного захисту АЕС така конфігурація має сертифікат рівня безпеки SIL 3 відповідно до вимог ІЕС 61508. Система на базі платформи RadICS може бути спроектована і виготовлена і в інших конфігураціях (наприклад, для забезпечення вимог класу 1Е для систем аварійного захисту АЕС США та Канади). При цьому не тільки підвищується рівень вимог до неї, але і розширюється набір функцій, які платформа повинна забезпечити. Але після розробки нових або удосконалення старих функціональних компонент, необхідно знову виконувати їх тестування, тобто потрібен час та знання.

Раніше тестування займало близько трьох тижнів включаючи створення алгоритмів, налаштування системи, перевірки та документування звіту.

Враховуючи, що етап тестування функцій платформи RadICS був відпрацьований при сертифікації вимог ІЕС 61508, доцільно використати його напрацювання та розробки для подальшого вдосконалення тестового стенда і скорочення часу тестування без втрат якісних характеристик (повноти тестового покриття, тощо).

2. Аналіз програмних засобів та тестового стенда, що використовувалися на етапі інтеграційного тестування. Оскільки ІКС на базі платформи RadICS функціонує в автономному режимі, то інтеграційне тестування системної логіки додатків (Application Logic), виконується логічним модулем (LM) цієї платформи у процесі діагностування працездатності компонент ІКС. Додатки Application Logic для платформи RadICS розроблені з використанням спеціалізованого інтегрованого середовища розробки (Integrated Development Environment, IDE) – Radix Platform Configuration Tool (RPCT). У даному IDE за допомогою засобів візуалізації кожний блок-додаток (Application Logic Block, ALB) представлений у графічному вигляді, що спрощує керування функціями (логічними, математичними, тощо). Кожен «графічний» AFB у середовищі RPCT пов'язаний з апаратно реалізованим у FPGA компонентом AFB в логічному модулі платформи RadICS.

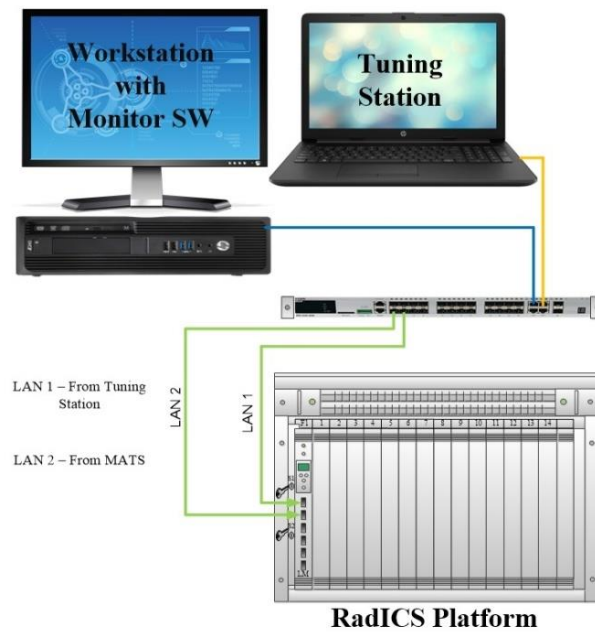


Рис. 1. Початкова конфігурація випробувального стенда для ручного тестування блоків AFBL

Множина AFB у середовищі RPCT формує бібліотеку функціональних блоків (AFBL) та складається з більш ніж 100 елементів-блоків. Ці функціональні блоки також можуть мати велику кількість параметрів вводу/виводу або навіть різні конфігурації.

Для проведення процедур інтеграційного тестування у ручному режимі використовувався спеціальний тестовий випробувальний стенд (Test Bad, ТВ), зображений на рис.1, що складався з:

- станції налаштувань (стаціонарний комп'ютер чи ноутбук з клієнтом налаштувань для генерації вхідних даних в AFB);
- робочої станції (робоча станція з програмою Monitor для збору вихідних даних);
- комутатора з портами для підключення оптоволоконних ліній;
- тестованої системи SUT (System Under Test) платформи RadICS (шасі платформи RadICS з LM).

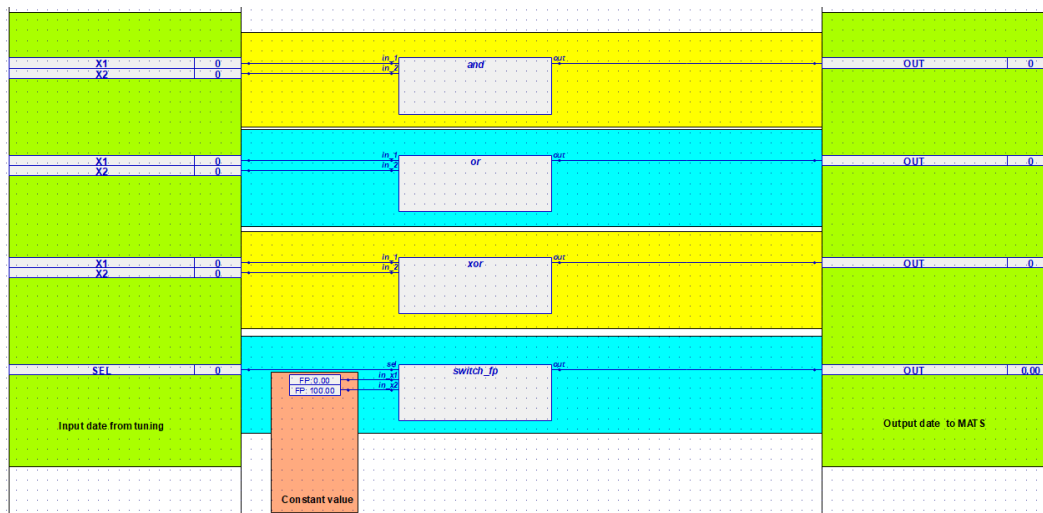


Рис. 2. Тестовий приклад для перевірки конфігурації блоків (AND, OR, XOR, SWITCH_FP) з бібліотеки AFBL

Для забезпечення необхідного тестового покриття під час інтеграційного тестування за допомогою RPCT для окремої конфігурації, яка може включати один, або декілька AFB розробляється тестовий приклад (рис. 2), який вручну прошивається до модуля LM через оптичний порт LAN1. Результати тестування через другий оптичний порт LAN2 модуля LM зчитуються робочою станцією з ПЗ Monitor.

Таким чином, інтеграційне тестування всієї бібліотеки AFBL виконувалась вручну двома інженерами-випробувачами (одна людина для тестування, а інша для документування результатів тестування) і займало два-три тижні.

3. Конфігурація модифікованого тестового випробувального стенда для автоматизованого інтеграційного тестування. Оскільки у багатьох проектах RadICS також використовуються апаратні стенди та програмні засоби компанії National Instruments (NI), і це обладнання показало високу надійність і точність вимірювань, було прийнято рішення використати його для автоматизованого випробувального стенда. Для процедур тестування у National Instruments розроблені програмні пакети LabVIEW та Test Stand. ПЗ Test Stand є спеціалізованим саме для автоматизації тестових процедур. Але його використання вимагає модифікації випробувального стенда, як показано на рис. 3.

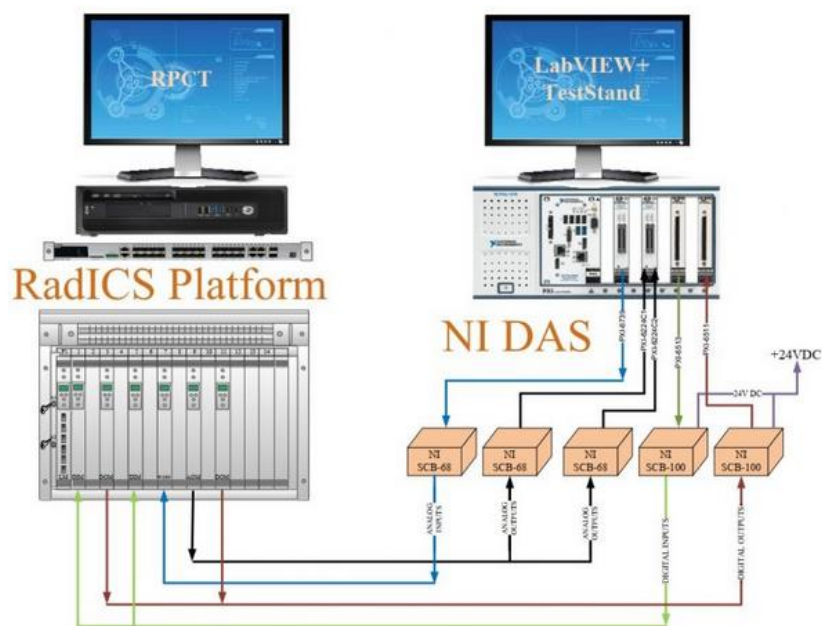


Рис. 3. Модифікований випробувальний стенд для автоматизованого тестування блоків AFBL

До конфігурації модифікованого тестового стенда входить SUT (платформа RadICS з комутатором оптоволоконних ліній та комп'ютер з IDE RPCT) і ТВ (представлений системою збору даних NI Data Analysis System, DAS). Використання DAS дозволяє зчитувати реальні сигнали з виходів модулів вводу/виводу платформи RadICS і цим самим відмовитися від моніторингу віртуальних сигналів через ПЗ Monitor у ручному режимі. При цьому кількість модулів у шасі обладнання NI і RadICS невелика (тільки по одному модулю кожного типу). Така мінімізація досягнута шляхом використання незалежних конфігурацій програмного забезпечення для кожного тестового прикладу. Це означає, що LM може зберігати у своїй пам'яті до 12 конфігурацій шасі з різним набором апаратного забезпечення. З іншого боку, ПЗ Test Stand дозволяє розробнику тестових прикладів формувати HW-модулі та канали по різному перед кожним тестом.

Використання ПЗ NI Test Stand дозволило розробнику створювати незалежні тестові приклади для кожного блоку з бібліотеки AFBL. Очікуваний результат і вхідні дані для кожного тесту беруться з зовнішнього файлу да-

них CSV і можуть бути змінені інженером-тестувальником, якому не потрібно мати практичну підготовку для роботи у складному середовищі LabVIEW (рис.4). Виконання тестового прикладу повністю автоматичне і послідовне.

	100 ms	x1	x2	OUT1
2	1	0	0	0
3	2	0	1	0
4	3	1	1	1
5	4	1	0	0

Рис. 4. CSV файл даних

Крім того, ПЗ TestStand автоматично складає зведений звіт з результатами всіх тестів. Звіт може бути представлений в різних форматах даних, таких як HTML, XML.

Як показали результати інтеграційного тестування платформи RadICS, автоматизований процес за допомогою NI Test Stand відповідає всім вимогам нормативної та керівної документації.

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі. У роботі запропоновано модифікацію тестового випробувального стенда для автоматизованого тестування блоків AFBL платформи RadICS шляхом використання обладнання DAS та програмного забезпечення Test Stand компанії National Instruments.

Автоматизація тестування дозволила отримати наступні переваги (у порівнянні з попередньою версією тестового стенда з ручним режимом):

- істотно скорочено час тестування (загальний час тестування менш як 10 хвилин у порівнянні з 2-3 тижнями);
- вхідні і вихідні сигнали пов'язані з фізичними каналами модулів вводу/виводу, а не їх віртуальним поданням у логічному модулі LM;
- зменшено негативний вплив фактору людських помилок на резуль-

тати проведення тестів;

– зменшено вимоги до кваліфікації інженера-тестувальника, зокрема до практичних навичок роботи у середовищі LabVIEW.

Напрямами подальших досліджень є:

– розширення множини тестових прикладів шляхом їх накопичення при тестуванні різних конфігурацій платформи RadICS;

– накопичення та обробка результатів тестування для визначення адекватних моделей оцінювання надійності та функційної безпечності ПЗ зокрема та ІКС на базі платформи RadICS в цілому.

Список використаних джерел:

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. URL: <https://www.iso.org/standard/35733.html>

2. IEC 60050-192:2015. International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/21886>

3. IEEE 829-2008 - IEEE Standard for Software and System Test Documentation. URL: <https://standards.ieee.org/standard/829-2008.html>

4. IEEE Standard for System and Software Verification and Validation, in IEEE Std 1012-2012 (Revision of IEEE Std 1012-2004) , vol., no., pp.1-223, 25 May 2012, doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6204026.

5. IEEE 1016-2009 - IEEE Standard for Information Technology--Systems Design--Software Design Descriptions. URL: <https://standards.ieee.org/standard/1016-2009.html>

6. IEC 61508-3:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems - Part 3: Software requirements. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5517>

7. Благодатских В.А. Волнин В.А., Посакалов К.Ф. Стандартизация разработки программных средств: Учеб. пособие. Под ред. О.С. Разумова. М.: Финансы и статистика, 2005. 288 с.

8. Аврутов В.В., Бурау Н.И. Надежность и диагностика приборов и систем: Учебное пособие. К.: НТУУ «КПИ», 2014. 156 с.

9. Liu, Q., Wu, Y., Lu, M. (2015). Study of GUI oriented software reliability accelerated testing method. "Proceedings of the First International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE)", p.p. 1-6, DOI:

10.1109/ICRSE.2015.7366479.

10. Honda, K., Washizaki, H., Fukazawa, Y., Munakata, K., Morita, S., Uehara, T., Yamamoto, R. (2015). Detection of unexpected situations by applying software reliability growth models to test phases. "Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)". № 18, p.p. 2-5, DOI: 10.1109/ISSREW.2015.7392024.

11. Okamura, H., Takekoshi, Y., Dohi, T. (2015). Fine-Grained Software Reliability Estimation Using Software Testing Inputs. "Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Software Quality Reliability and Security (QRS)". № 20, p.p. 85-92, DOI: 10.1109/QRS.2015.22.

12. Zhou, B., Lei, H., Guo, W. (2015). Software reliability modeling with the generalized logistic test coverage function. "Proceedings of the 2015 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)". № 23, p.p. 106-109, DOI: 10.1109/ICSESS.2015.7339015.

13. Li, Q., Li, H., Minyan, L. (2015). Incorporating S-shaped testing-effort functions into NHPP software reliability model with imperfect debugging. "Journal of Systems Engineering and Electronics". Vol. 26, № 1, p.p. 190-207, DOI: 10.1109/JSEE.2015.00024.

14. Ali-Shahid, M.M., Sulaiman, S. (2015). Improving reliability using software operational profile and testing profile. "Proceedings of the 2015 International Conference on Computer Communications, and Control Technology (I4CT)". № 18, p.p. 384-388, DOI: 10.1109/I4CT.2015.7219603.

15. Маевский Д. А., Жеков О.П. Использование теории временных рядов для выделения вторичных ошибок на этапе тестирования программного обеспечения. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2011. № 2 (16). С. 82-85.

16. Одарущенко О.Н., Руденко А.А., Харченко В.С. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2012. № 7 (59). С. 294-300.

17. Rudenko O., Odarushchenko E., Rudenko Z., Rudenko M., "The Secondary Software Faults Number Evaluation Based on Correction of the Experimental Data Exponential Line Approximation", Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018, Kyiv, 2018, pp. 401-405.

18. Руденко О. А. Оцінювання кількості вторинних дефектів програм-

них засобів шляхом комплексування модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона / О. А. Руденко, О. М. Одарущенко, З. М. Руденко, О. Б. Одарущенко // Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. Вип. 1. С. 97-100.

References:

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. URL: <https://www.iso.org/standard/35733.html>
2. IEC 60050-192:2015. International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/21886>
3. IEEE 829-2008 - IEEE Standard for Software and System Test Documentation. URL: <https://standards.ieee.org/standard/829-2008.html>
4. IEEE Standard for System and Software Verification and Validation, in IEEE Std 1012-2012 (Revision of IEEE Std 1012-2004) , vol., no., pp.1-223, 25 May 2012, doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6204026.
5. IEEE 1016-2009 - IEEE Standard for Information Technology--Systems Design--Software Design Descriptions. URL: <https://standards.ieee.org/standard/1016-2009.html>
6. IEC 61508-3:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems - Part 3: Software requirements. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5517>
7. Blagodatskikh V.A., Volnin V.A., Poskakalov K.F. Standardization of software development. Ed. O.S. Razumova. Moscow: Finance and Statistics, 2005. 288 p.
8. Avrutov V.V., Burau N.I. Reliability and diagnostics of devices and systems. К.: NTUU "KPI", 2014. 156 p.
9. Liu, Q., Wu, Y., Lu, M. (2015). Study of GUI oriented software reliability accelerated testing method. "Proceedings of the First International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE)", p.p. 1-6, DOI: 10.1109/ICRSE.2015.7366479.
10. Honda, K., Washizaki, H., Fukazawa, Y., Munakata, K., Morita, S., Uehara, T., Yamamoto, R. (2015). Detection of unexpected situations by applying software reliability growth models to test phases. "Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)". № 18, p.p. 2-5, DOI: 10.1109/ISSREW.2015.7392024.
11. Okamura, H., Takekoshi, Y., Dohi, T. (2015). Fine-Grained Software Reliability Estimation Using Software Testing Inputs. "Proceedings of the 2015

IEEE International Conference on Software Quality Reliability and Security (QRS)". № 20, p.p. 85-92, DOI: 10.1109/QRS.2015.22.

12. Zhou, B., Lei, H., Guo, W. (2015). Software reliability modeling with the generalized logistic test coverage function. "Proceedings of the 2015 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)". № 23, p.p. 106-109, DOI: 10.1109/ICSESS.2015.7339015.

13. Li, Q., Li, H., Minyan, L. (2015). Incorporating S-shaped testing-effort functions into NHPP software reliability model with imperfect debugging. "Journal of Systems Engineering and Electronics". Vol. 26, № 1, p.p. 190-207, DOI: 10.1109/JSEE.2015.00024.

14. Ali-Shahid, M.M., Sulaiman, S. (2015). Improving reliability using software operational profile and testing profile. "Proceedings of the 2015 International Conference on Computer Communications, and Control Technology (I4CT)". № 18, p.p. 384-388, DOI: 10.1109/I4CT.2015.7219603.

15. Maevsky D.A., Zhekov O.P. Using time series theory to isolate secondary errors at the software testing stage. Radioelectronic and computer systems. 2011. No. 2 (16). P. 82-85.

16. Odarushchenko O.N., Rudenko A.A., Kharchenko V.S. A method for evaluating the reliability of software tools taking into account secondary defects. Radioelectronic and computer systems. 2012. No. 7 (59). P. 294-300.

17. Rudenko O., Odarushchenko E., Rudenko Z., Rudenko M., "The Secondary Software Faults Number Evaluation Based on Correction of the Experimental Data Exponential Line Approximation", Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018, Kyiv, 2018, pp. 401-405.

18. Rudenko O.A., Odarushchenko O.M., Rudenko Z.M., Odarushchenko O.B. Estimation of the number of secondary defects of software by complexing modified models of growth of reliability of Dzhelinski-Moranda and Shika-Wolverton. Control, navigation and communication systems. 2020. vol. 1. P. 97-100.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.6>

УДК 621.396.96

Ю. С. Тарасенко, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів

В. Г. Солянніков, студент магістратури Університету митної справи та фінансів

О. Е. Калюжний студент магістратури Університету телекомунікацій

КОНЦЕПТУАЛЬНО-ГНОСЕОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ (ЗАХИЩЕНОСТІ) З ПОЗИЦІЙ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Розглянуто можливе підвищення надійності інформаційної захищеності в конкретній галузі людської діяльності з позицій обов'язкового виконання штатних регламентних робіт при жорсткому контролі дотримання кодексу ділового поведінки в сукупності з впровадженням і реалізацією систем забезпечення анонімності задіяного персоналу, наприклад, співробітників критично важливих об'єктів або ключових систем інформаційної інфраструктури. Проведено аналіз публікацій по системам інформаційної інфраструктури.

Ключові слова: соціальна інженерія, інформаційна безпека, кібератака, кібербезпека, інформаційна захищеність, ключові системи інформаційної інфраструктури, критично важливі об'єкти.

Рассмотрено возможное повышение надежности информационной защищенности в конкретной области человеческой деятельности с позиций обязательного выполнения штатных регламентных работ при жестком контроле соблюдения кодекса делового поведения в совокупности с внедрением и реализацией систем обеспечения анонимности задействованного персонала, например, сотрудников критически важных объектов или ключевых систем информационной инфраструктуры. Проведен анализ публикаций по системам информационной инфраструктуры.

© Ю. С. Тарасенко, В. Г. Солянніков, О. Е. Калюжний, 2020

Ключевые слова: социальная инженерия, информационная безопасность, кибератака, кибербезопасность, информационная защищенность, ключевые системы информационная инфраструктура, критически важные объекты.

A possible increase in the reliability of information security in a specific area of human activity is considered from the standpoint of the mandatory performance of regular routine maintenance with strict control of compliance with the code of business conduct in conjunction with the implementation and implementation of systems to ensure the anonymity of the personnel involved, for example, employees of critical facilities or key information infrastructure systems.

Analysis of publications on conceptual, organizational, legal, engineering, software and mathematical and their complex aspects of information security of key information infrastructure systems shows that there is still a weak point - the so-called "human factor". This determines the urgency of the problem of generalization of the basic principles of information security by implementing an additional system of information security (security) from the standpoint of the use of social engineering.

The very concept of "social engineering", symbolically formed in the form of a generalized form of implementation of the engineering approach in the social sphere, should correspond to the specifics of engineering. Therefore, in scientific publications, directly, social engineering, as a special kind of activity, is focused on purposeful change and regulation of various organizational structures (social institutions, formal organizations, etc.).

This determines the urgency of the problem of generalization of the basic principles of information security, clarification of the possibility of implementing a system of anonymity of personnel in protection against cyber-attacks through social engineering and, from the standpoint of modern cyber safety, development of recommendations for improving the reliability of information protection. Discerned and revealed in reality the advancement of the hopes of information abduction in a specific hallucination of human activity.

Keywords: social engineering, information security, cyber-attack, cyber safety, information security, key information infrastructure systems, critical objects.

Вступ. В класичних загальноприйнятих напрямках будь-якій області пізнання зі сфер людського буття, як правило, використовують поняття, формування яких обґрунтовано закінчується за допомогою їх відображення у вигляді вітчизняної (гостованої) термінології, що корелюється з міжнародними стандартами, які розробляються відповідно до правил, встановлених в Директивах ISO / ІЕС [1,2]. Цілком очевидно, що сучасні наукові та супутні їм освітні напрямки оперують новою термінологією, успішним опануванням яких (крім гносеологічних і концептуальних основ сприйняття), є реалізація чіткості і однозначності понятійного трактування нової використовуваної термінології. В даному випадку озвучене в назві – це авторське пізнавальне трактування можливої реалізації інформаційної безпеки (ІБ) або захищеності з позицій соціальної інженерії в конкретній галузі людської діяльності. При цьому тут, за аналогією з [1,2], запропоновано “концептуально-гносеологічні аспекти”, які потрібно сприймати у вигляді реалізації простежування діалектичного розвитку моделі раціональної діяльності (парадигми) з точки зору вироблення оцінки відповідності достовірності досліджуваних явищ підтверджуючи прямими або непрямыми звіреннями даних питань (процесів) в конкретній сфері людського буття за допомогою реалізації існуючих (або нових) методів і засобів соціальної інженерії.

Постановка задачі. Саме поняття “соціальна інженерія”, символічно сформоване у вигляді узагальненої форми реалізації інженерного підходу в соціальній сфері, має відповідати специфіці інженерної діяльності. Тому, в наукових публікаціях, безпосередньо, соціальна інженерія (СІ), як особливий рід діяльності, орієнтована на цілеспрямовану зміну і регулювання різних організаційних структур (соціальних інститутів, формальних організацій та ін.). Однак, історично склалось так, що "соціальною інженерією" стали називати і хакерство з використанням людського фактору [3]. З метою уточнення і конкретизації використання соціальної інженерії, нижче запропоновано розглянути можливість вирішення одного з головних завдань управління в соціальній інженерії з позицій оптимальності видачі прийнятих рішень і вибору альтернатив в безпосередній політиці розвитку інформаційної безпеки (захищеності) підвідомчої організації.

Мета. Метою публікації є узагальнення основних принципів інформаційної захищеності, виявлення можливості реалізації системи забезпечення анонімності роботи персоналу при захисті від кібератак за допомогою вико-

ристання соціальної інженерії та, з позиції сучасної кібербезпеки, розробка рекомендації удосконалення підвищення надійності інформаційного захисту задіяного персоналу.

Виклад основного матеріалу. Зауважимо, що використання поняття “інформаційна безпека”, а нижче і застосування, згідно ISO / ІЕК 27032 2012 [4], терміну “кібербезпека - (КБ)”, об’єднаних спільним однокореневим базисом “безпека”, вимагає введення досить коректного терміну типу “інформаційна захищеність” (ІЗ), більш асоційованого з практичною реальністю.

Дійсно, згідно з [5, стаття 1, п.5], “кібербезпека – захищеність життєво-важливих інтересів людини і громадянина, суспільства та держави під час використання кіберпростору, за якої забезпечуються сталий розвиток інформаційного суспільства та цифрового комунікативного середовища, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних і потенційних загроз національній безпеці України у кіберпросторі». Саме ж поняття кіберпростору, насамперед, асоціюється зі сферою діяльності в інформаційному просторі людського буття, спрямовану на реалізацію захищеності кібероб’єктів від всіх відомих і вивчених кібернебезпечних джерел. При цьому тут (див. [5, стаття 1 п.11]), кіберпростір – це «середовище (віртуальний простір), яке надає можливості для здійснення комунікацій та/або реалізації суспільних відносин, утворене в результаті функціонування сумісних (з’єднаних) комунікаційних систем та забезпечення електронних комунікацій з використанням мережі Інтернет та/або інших глобальних мереж передачі даних». У такому випадку прийнято розрізняти об’єкти (див. [5, стаття 4 та 6]) на об’єкти кібербезпеки (стаття 4, п.1), у тому числі об’єднані з об’єктами критичної інфраструктури (стаття 6), та на об’єкти кіберзахисту (стаття 4, п.2). Таким чином, термін “кібербезпека об’єкта”, що відповідає рекомендаціям [6], відображає внутрішні властивості об’єкта не бути небезпечним для навколишнього середовища при його функціонуванні у всіх штатних режимах роботи. Причому, можливий збиток кібероб’єкту розцінюється як спеціально реалізована кібератака у вигляді навмисно організованої сукупності дій за допомогою засобів електронних комунікацій (включаючи інформаційно-комунікаційні технології, програмні, програмно-апаратні засоби, інші технічні та технологічні засоби і обладнання) [5, стаття 1 п.4]), що спрямовані на нанесення економічної, технічної або інформа-

ційної шкоди. Самі ж кібератаки по відношенню до кібероб'єкту можуть бути внутрішніми і зовнішніми, а по відношенню до інформації, як відомо, можливі лише зовнішні впливи. Звідки виходить, що захищеність об'єкта - це його захист від зовнішніх джерел небезпеки, в той час, як безпека об'єкта – це внутрішня властивість об'єкта не бути джерелом небезпеки для навколишнього середовища. Оскільки ж саме визначення інформації до теперішнього часу досить нечітке, через це і однозначно сформувані поняття безпеки інформації на підставі її тлумачення як внутрішньої структури, так і внутрішніх властивостей, не представляється можливим. Тому, замість терміну “безпека інформації”, пов'язаного тільки з намірами її володаря, доцільно використовувати поняття “інформаційна захищеність (ІЗ)”, що відображає захист конфіденційності, цілісності та доступності інформації в конкретній галузі людської діяльності, що використовуємо нижче і відповідає викладеному в [6,7].

Очевидно, що, безпосередній стан об'єкта інформаційної захищеності залежить від багатьох чинників і, насамперед, від сфери його застосування, оскільки в сучасному світі не слабшає тенденція деструктивних впливів на потенційно значущі інформаційні ресурси будь-яких організацій, як на державному, з точки зору, так званого, “промислового шпигунства”, так і на рівні терористичних і кримінальних структур. Перш за все, це пов'язано з особливою вразливістю інфраструктури і високою професійною відповідальністю, наприклад, співробітників критично важливих об'єктів (КВО), від роботи яких залежить не тільки штатне функціонування цих об'єктів, а й ступінь захисту від будь-яких загроз і їх передумов, здатних викликати техногенну, екологічну або фінансову катастрофу [8-12]. При цьому, згідно [5, стаття 1, п.16], критично важливі об'єкти інфраструктури (далі - об'єкти критичної інфраструктури) – це “підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, діяльність яких безпосередньо пов'язана з технологічними процесами та/або наданням послуг, що мають велике значення для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення, виведення з ладу або порушення функціонування яких може справити негативний вплив на стан національної безпеки і оборони України, навколишнього природного середовища, заподіяти майнову шкоду та/або становити загрозу для життя і здоров'я людей».

Обсяг кількості публікацій з концептуальним, організаційним, юриди-

чно-правових, інженерно-технічним, програмно-математичним і їх комплексних аспектів забезпечення інформаційної захищеності як КВО, так і ключових систем інформаційної інфраструктури (КСІІ) не тільки підтверджує актуальність порушеної теми, а й приховано припускає наявність апріорного професіоналізму персоналу і серйозного рівня їх безпосередньої захищеності. Зараз, фактично, за рахунок синтезу різних верств захисту як по інформаційним ресурсам, так і по задіяному персоналу, незважаючи на реалізацію різних захисних технологій, наприклад [13], від базового рівня захисту типу: оператор-користувач → VPN / TOR / SSH- тунель → ціль і до рівня (назвемо його гіпотетично квазі-ідеальним рівнем захисту), типу: оператор-користувач → Double VPN (в різних дата центрах, але поруч один з одним) → Віддалене робоче місце + Віртуальна машина → VPN, все одно, як і раніше, залишається слабе місце, - так званий “людський фактор”. Саме від якості (морально-професійного рівня) задіяного кадрового складу відповідно до штатного кодексу ділової поведінки, що забезпечує специфічні заходи, в тому числі, по прогнозуванню, виявленню, стримуванню, запобіганню, відбиття інформаційних загроз і ліквідації наслідків їх прояву, а, частіше і від анонімності їх роботи, залежить безпечне функціонування КВО і КСІІ.

Як відомо [14-17], в даний час розробляються системи комп'ютерного зору, що, безперечно, мають широкий позитивний спектр застосування (у тому числі в галузі забезпечення безпеки), які досягли рівня вирішення завдань не тільки виявлення, а й розпізнавання фігур людей (і навіть їх відстеження) в пішохідних потоках. Пам'ятаючи, що “кожна медаль має і зворотний бік”, завдання забезпечення анонімності при відбитті атак несанкціонованого стеження за об'єктом спостереження (а їм, в тому числі, може бути і вище згаданий професіонал з КСІІ) також має право на існування і обговорення можливих контрзаходів (тобто можливих захисних способів вирішення), в тому числі що і реалізують їхню особисту безпеку шляхом створення режиму анонімності власної роботи. Для нашого випадку, пропонується використовувати активні і пасивні радіолокаційні методи захисту [18], спрямовані на нівелювання, частіше і на повну нейтралізацію так званих в радіолокації “блискучих точок” об'єктів спостереження. Дана пропозиція ґрунтується на тому факті, що існуючі методи розпізнавання образів, викладених, наприклад, в [15], базуються на алгоритмі формування НОГ дескрипторів, завдяки чому “об'єкт на області зображення може бути описаний напрямком

країв або розподілом градієнтів яскравості. Реалізація таких дескрипторів проводиться поділом зображення на зв'язкові області (осередку), і підрахунком напрямків градієнтів для кожного осередку або напрямків країв пікселів всередині. Комбінація гістограм називається дескриптором. Щоб збільшити точність проводять “нормалізацію за контрастом для локальних гістограм”. Фактично алгоритм отримання кінцевого результату “нормалізації по контрасту локальних гістограм” аналогічний радіолокаційному розпізнаванню об'єктів, сформованому, при високій роздільній здатності, у вигляді якогось образу з конфігурацій блискучих точок, в даному випадку аналогом градієнтів яскравості (країв пікселів).

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Виявлено, що можливе реальне підвищення надійності інформаційної захищеності в конкретній галузі людської діяльності з позицій обов'язкового виконання штатних регламентних робіт при жорсткому контролі щодо дотримання кодексу ділової поведінки та в усій сукупності з впровадження і реалізації систем забезпечення анонімності задіяного персоналу.

В подальшому пропонується докладніше розглянути напрямки з реалізації системи захисту від соціотехнічних атак з використанням активних і пасивних методів нелінійної радіолокації для виявлення та розпізнання технічних засобів виведення з ладу штатного функціонування об'єктів критичної інфраструктури та систем протидії знімання і передачі службової інформації хакерам з метою покращення безпеки об'єктів інфраструктури, у тому числі КВО та КСП.

Список використаних джерел:

1. ИСО/МЭК 17007:2009 «Оценка соответствия. Методические указания по разработке нормативных документов, предназначенных для применения при оценке соответствия» (ISO/IEC 17007:2009 «Conformity assessment — Guidance for drafting normative documents suitable for conformity assessment»).
2. ИСО/МЭК 17000:2004 Оценка соответствия. Словарь и общие принципы (ISO/IEC 17000:2004, Conformity assessment — Vocabulary and general principles).
3. Социальная инженерия и социальные хакеры / М. В. Кузнецов, И. В. Симдянов. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 368 с.
4. ISO/IEC 27032 2012. Information technology — Security techniques

— Guidelines for cybersecurity. Код КС (ОКС, МКС) 35.040. «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Руководящие указания по обеспечению кибербезопасности». 58с.

5. Закон України Про основні засади забезпечення кібербезпеки України від 05.10.2017 N 2163-VIII. (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 45, ст.403). {Із змінами, внесеними згідно із Законами № 2469-VIII від 21.06.2018, ВВР, 2018, № 31, ст.241, № 720-IX від 17.06.2020, ВВР, 2020, № 47, ст.408, № 912-IX від 17.09.2020}.

6. Ежемесячное приложение к журналу «Стандарты и качество». Экологические аспекты проблем надежности и безопасность технических систем. «Основные понятия безопасности». Алпеев А.С. М., 1994, вып. 7.

7. История и основы информационной триады безопасности: целостность, доступность, конфиденциальность. 1 Марта, 2018. URL: <https://falcongaze.ru/pressroom/publications/articles/security-triad.html>.

8. Иванченко О.В. Концепция управления готовностью критических инфраструктур на основе применения информационных технологий / О.В.Иванченко, К.В.Смокий, О.Д.Смокий, В.С.Харченко// Системи та технології. 2016. Вып.1 (55). С.5-23.

9. Породин Д. Защита ключевых систем информационной инфраструктуры Журнал "Information Security / Информационная безопасность" №3, 2012. АМТ-ГРУП, ЗАО. Москва, E-mail: info@amt.ru www.amt.ru.

10. Безопасность ключевых систем информационной инфраструктуры: точка доверия. Лаборатория Касперского - Октябрь 16, 2012.

11. Кубанков А.Н., Кубанков Ю.А. Свойства процесса защиты информации, определяющие его качество // Стандарты и качество. 2016, №9. С. 104-107.

12. Кубанков А.Н., Кубанков Ю.А., Симонов П.И. Подходы к комплексному измерению качества защиты информации. // Технологии информационного общества. Сб. трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». М.: ООО «ИД Медиа Паблицер», 2017. С.280-282.

13. Мысли об идеальной анонимности / Блог компании Whoer.net, URL: <https://habr.com/company/whoer/blog/2016>.

14. Поташников А.М. Методы обнаружения и отслеживания объектов в системах видеонаблюдения на основе систем компьютерного зрения // Технологии информационного общества. Сб. трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». М.: ООО «ИД Медиа Паблицер», 2017 с.149-151.

15. Яшина М.В., Толмачев А.А. Методы распознавания образов для оценки характеристик пешеходных потоков // Технологии информационного общества. Сборник трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2017 с.466-468.

16. Попова Л. П., Датъев И.О. Обзор существующих методов распознавания образов. М.: Сборник научных трудов, 2007. 11 с.

17. Зенин А. В. Анализ методов распознавания образов // Молодой ученый. 2017. №16. С. 125-130. URL: <https://moluch.ru/archive/150/42393/>.

18. Тарасенко Ю.С. Фізичні основи радіолокації. Дніпро: Пороги, 2011. 487 с.

References:

1. ISO / IEC 17007: 2009 «Conformity assessment - Guidance for drafting normative documents suitable for conformity assessment».

2. ISO / IEC 17000: 2004, Conformity assessment - Vocabulary and general principles.

3. Sotsial'na inzheneriya ta sotsial'ni khakery / M. V. Kuznyetsov, I. V. Simdyanov. - SPb .: BKHV-Peterburh, 2007. 368 p.

4. ISO/IEC 27032:2012. Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity.

5. Zakon Ukrainy Pro osnovni zasady zabezpechennya kiberbezpeki Ukrainy ot 05.10.2017 N 2163-VIII. (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR) 2017, № 45, st.403). {Iz zminami, vnesenymy sohlasno iz Zakonamy № 2469-VIII vid 21.06.2018, VVR, 2018, № 31, st.241, № 720-IX vid 17.06.2020, VVR, 2020 roku, № 47, st.408, № 912 -IX vid 17.09.2020}.

6. Shchomisyachne dodatok do zhurnalnogo «Standarty ta yakist'». Ekolohichni aspekty problem nadiynosti i bezpeky tekhnichnykh system. «Osnovni ponyattya bezpeky». Alpyeyev A.S. M., 1994, vyp. 7.

7. Istoriya ta osnovy informatsiyanoi triady bezpeky: tsilisnist', dostupnist', konfidentsiynist'. 1 Bereznya, 2018. URL: <https://falcongaze.ru/pressroom/publications/articles/security-triad.html>.

8. Ivanchenko O.V. Kontsepsiya upravlinnya hotovnistyu krytychnykh infrastruktur na osnovi zastosuvannya informatsiynykh tekhnolohiy / O.V.Ivanchenko, K.V.Smoktiy, O.D.Smoktiy, V.S.Kharchenko // Systemy ta tekhnolohiyi. 2016. Vyp.1 (55). S.5-23.

9. Porodin D. Zakhyst klyuchovykh system informatsiyanoi infrastruktury Zhurnal "Information Security / Informatsiyna bezpeka" №3, 2012.

10. Bezpeka klyuchovykh system informatsiyoi infrastruktury: tochka doviry. Laboratoriya Kaspers'koho 10.16, 2012.

11. Kubantsi A.N., Kubantsi Yu.A. Vlastyvoli protsesu zakhystu informatsiyi, shcho vyznachayut' yoho yakist' // Standarty i yakist'. 2016, №9. P. 104-107.

12. Kubantsi A.N., Kubantsi Yu.A., Symonov P.I. Pidkhody do kompleksnoho vymiryuvannya yakosti zakhystu informatsiyi. // Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva. Zb. prats' XI Mizhnarodnoyi haluzevoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi «Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva». M.: TOV «VD Media Pablysher», 2017. pp.280-282.

13. Dumky pro ideal'nu anonimnosti / Pres-tsentr kompaniyi Whoer.net, URL: <https://habr.com/company/whoer/blog/2016>.

14. Potashnyk A.M. Metody vyyavlennya ta vidstezhennya ob'yektiv v systemakh videosposterezhennya na osnovi system komp'yuternoho zoru // Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva. Zb. prats' XI Mizhnarodnoyi haluzevoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi «Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva». M.: TOV «VD Media Pablysher» 2017 pp.149-151.

15. Yashyna M.V., Tolmachov A.A. Metody rozpiznavannya obraziv dlya otsinky kharakterystyk pishokhidnykh potokiv // Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva. Zbirnyk prats' XI Mizhnarodnoyi haluzevoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi «Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva». M.: TOV «VD Media Pablysher» 2017. pp.466-468.

16. Popova L. P., Dat'ev I.O. Ohlyad isnuyuchykh metodiv rozpiznavannya obraziv. M.: Zbirnyk naukovykh prats', 2007. 11 p.

17. Zenin A. V. Analiz metodiv rozpiznavannya obraziv // Molodyy vchenyy. 2017. №16. P. 125-130. URL: <https://moluch.ru/archive/150/42393/>.

18. Tarasenko Yu.S. Fizychni osnovy radiolokatsiyi. Dnipro: Porohy, 2011. 487 p.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2020.2-60.7>

УДК 621.396.96

Ю. С. Тарасенко, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів
Д. І. Прокопович-Ткаченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів
Ю. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Університету митної справи та фінансів
В. О. Воскобойник, кандидат технічних наук, доцент кафедри захисту інформації, Національного університету «Запорізька політехніка»

ПАРАДИГМА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ВИМІРЮВАНЬ: ВІД ПОГРІШНОСТІ ДО НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Стаття присвячена розгляду концептуальних питань організації і проведення радіоелектронних вимірювань. Результати дослідження свідчать, що адекватність і достовірність відповідності радіоелектронних вимірювань у рамках використання принципу невизначеності слід ототожнювати як з характером апостеріорних результатів вимірювань, так і з виробленням рішення щодо їх погрішностей в можливих інтервалах змін цих погрішностей у вигляді деяких відхилень, що безпосередньо і відображає наявність факту невизначеності вимірювання.

Ключові слова: *вимірювальні моделі, засоби вимірювальної техніки, програма метрологічної атестації, безлунна камера, метрологічна атестація засобів вимірів.*

Статья посвящена концептуальным вопросам организации и проведения радиоэлектронных измерений. Результаты исследования свидетельствуют, что адекватность и достоверность соответствия радиоэлектронных измерений в рамках использования принципа неопределенности

**© Ю. С. Тарасенко, Д. І. Прокопович-Ткаченко, Ю. В. Савченко,
В. О. Воскобойник, 2020**

следует отождествлять как с характером апостериорных результатов измерений, так и с выработкой решения по приписываемых им погрешностям в возможных интервалах в виде некоторых отклонений, что и отображает наличие факта неопределенности измерений.

Ключевые слова: измерительные модели, средства измерительной техники, программа метрологической аттестации, безэховая камера, метрологическая аттестация средств измерений.

The article is devoted to the conceptual issues of organizing and conducting radio-electronic measurements. The results of the study indicate that the adequacy and reliability of the compliance of electronic measurements within the framework of the use of the uncertainty principle should be identified both with the nature of a posteriori measurement results and with the development of a solution for the errors attributed to them in possible intervals in the form of some deviations, which reflects the presence of the fact of measurement uncertainty.

The analysis shows that the traceability of measurement results to the International System of Units (SI) is carried out by calibration, provided by a competent laboratory, using certified standard samples with certified values of a competent manufacturer with specified metrological traceability to SI and by direct implementation of SI units. direct or indirect comparisons with national or international standards.

The paradigm of reliability of conformity of measurements in the course of their realization according to modern requirements of the last ISO recommendations in Ukraine is provided by legislative requirements on creation of laboratories on calibration. At the same time, these services with a wide variety of measurements are able to cover a limited part related to determining the reliability of measurement measures in accordance with the international measurement system.

The results of the study can actually state that the adequacy and reliability of electronic measurements in the application of the uncertainty principle should be identified with the issuance of a posteriori measurement results and with the development of decisions on the errors attributed to them and possible intervals of their errors in the form of some deviations reflects the fact of measurement uncertainty.

Keywords: *measuring models, measuring equipment, metrological certification program, anechoic chamber, metrological certification of measuring instruments.*

Вступ. Аналіз тенденцій формування основних положень по забезпе-

ченню надійності і єдності вимірювань в процесі реалізацій радіоелектронних способів, методів і методик вимірювань (далі вимірювальних моделей – ВМ) і засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на сучасному етапі засвідчив нерівномірність та певні диспропорції їх розвитку. Проблема є комплексною і одним з важливих недоліків є неефективне сприйняття та використання понять погрішності і принципу невизначеності вимірювань в конкретних областях людської діяльності. Парадигма достовірності вимірювань в процесі їх реалізації відповідно до сучасних вимог останніх рекомендацій ISO в Україні забезпечується законодавчими вимогами по створенню лабораторій з калібрування. При цьому ці служби з великого різноманіття вимірювань здатні охоплювати обмежену частину, пов'язану із з'ясуванням достовірності заходів вимірювання відповідно до системи СІ. Радіоелектронні ВМ і ЗВТ ще не забезпечені достатньою нормативною базою при конкретному застосуванні і реалізації принципу невизначеності вимірювання. Це обумовлює актуальність проблеми удосконалення формування основних положень по забезпеченню надійності і єдності вимірювань в процесі реалізацій радіоелектронних способів, методів і методик вимірювань.

Постановка задачі. Згідно діючого раніше ДСТУ 3215-95 (натомість ГОСТ 8.326-89), що встановлює загальні вимоги до організації і порядку проведення метрологічної атестації засобів вимірювань (МАЗВ), як різновиду державного метрологічного нагляду і відомчого контролю, було прийняте, по результату позитивної МАЗВ, виносити ухвалу про придатність ЗВТ до застосування для цілей і в умовах, визначуваних їх призначенням [1, п.1.8]. При цьому метрологічну атестацію засобів вимірювань, що входять до складу випробувального устаткування і вимірювальних каналів систем (комплексів), допускається поєднувати з атестацією випробувального устаткування і метрологічною атестацією вимірювальних каналів. Причому використовується методика і програма метрологічної атестації (ПМА) засобів вимірювання можуть входити складовою частиною як в програму атестації випробувального устаткування, так і в програму метрологічної атестації вимірювальних каналів [1, п.2.6]. Тут:

- під терміном "вимірювальний канал системи" слід розуміти послідовне з'єднання вимірювальних каналів, що передбачене алгоритмом функціонування системи, які виконують скінчену функцію від сприйняття вимірюваної величини до індикації або перетворення його в сигнал, зручний або

для подальшого використання поза системою, або для введення в цифровий або аналоговий обчислювальний пристрій, що входить до складу системи (комплексу);

- під терміном "ПМА" – деякий методичний документ, що затверджується головними організаціями країни з державних випробувань засобів вимірювання і відповідних метрологічних служб, що встановлюють послідовність, об'єм і методику метрологічної атестації засобів вимірювання, що характеризуються спільністю функціонального призначення, методів і засобів атестації. Причому в ПМА рекомендується використовувати методики експериментальних досліджень і перегляди технічної документації, встановлені в стандартах, типових програмах державних приймальних випробувань і інших нормативно-технічних документах.

Якщо неможливо було використовувати ці методи і засоби, то підприємство (організація), що представляє засіб вимірювання на метрологічну атестацію, включають в ПМА спеціальні методи і засоби дослідження метрологічних характеристик. Більше того, допускається застосування розрахункових і розрахунково-експериментальних методів визначення метрологічних характеристик вимірювальних каналів систем (комплексів). При цьому, до проведення метрологічної атестації конкретних засобів вимірювань допускалося використання до них умовно-узагальненої назви у вигляді "нестандартних засобів вимірювань", а після успішної метрологічної атестації такі ЗВТ отримували статус стандартних засобів вимірювань. Ті ж засоби вимірювань, що не підпадають під чіткий алгоритм державного метрологічного нагляду і відомчого контролю [2-4], мали можливість бути атестованими, використовуючи ГОСТ 8.326 - 78: Метрологічне забезпечення розробки, виготовлення і експлуатації нестандартних засобів вимірювань [5]. При такій метрологічній атестації засобів вимірювальної техніки передусім здійснюється визначення метрологічних характеристик вимірювальної техніки і встановлення придатності цих ЗВТ до застосування через визначення і встановлення відповідності цих метрологічних характеристик ЗВТ, що атестуються до вимог технічного завдання (ТЗ) на розробку, а також іншим нормативним документам на ці ЗВТ, включаючи і перевірку правильності вибору методів і засобів перевірки ЗВТ, приведених (що відображаються) в експлуатаційних документах.

Мета. Метою публікації є аналіз тенденції формування основних по-

ложень по забезпеченню надійності і єдності вимірювань в процесі реалізації радіоелектронних способів, методів і методик вимірювань і засобів вимірювальної техніки з позицій використання понять погрішності і принципу невизначеності вимірювань в конкретних областях людської діяльності.

Результати дослідження. Наочним підтвердженням є метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки у вигляді безлунних камер (БЛК), широко вживаних при радіоелектронних вимірюваннях [6-10]. На їх основі можлива реалізація багатьох (часто дуже трудомістких) електромагнітних вимірювань, що забезпечують з'ясування як емпіричної адекватності моделей, що відображають конкретні пристрої або явища (наприклад, [11-13]), так і саму оцінку достовірності вимірювань, здійснених засобами радіоелектронної апаратури при використанні радіофізичних методів дослідження. При цьому, кожного разу перед експериментальними дослідженнями, БЛК в комплексі із стандартною вимірювальною апаратурою, повинна проходити перевірки на метрологічну достовірність підтвердження відповідності вимірювань [4].

Безпосередньо концепція принципу достовірності підтвердження відповідності вимірювань побудована на основі оцінки прийняттого ризику і аналізу функціонування комбінованої системи підтвердження відповідності в умовах невизначеності. Використання принципу невизначеності добре відоме в квантовій фізиці, радіолокації, інтроскопії і інших галузях, схильних до імовірнісних законів протікання подій в них і, нині, введений для відображення імовірнісного характеру при оцінюванні проведених вимірювань. Зокрема, наявність специфічних вимірювань при можливому відхиленні від очікуваної події або результату, наприклад, при обчисленні відношення правдоподібності [7], призводить до необхідності оцінювання достовірності підтвердження відповідності проведених вимірювань, тобто до визначення міри довіри до отриманого результату при заданому (допустимому) ризику – критерію, що визначається за допомогою статистичних закономірностей досліджуваних подій. Так, наприклад, в радіолокації використовують критерій Неймана-Пірсона або критерій ідеального спостерігача, апріорна величина яких визначається по заданій ймовірності помилкової тривоги або правильного виявлення. У разі вимірювання за допомогою БЛК, прийнято оцінювати наступні параметри: зону і рівень безлунності, уявну ефективну площу зворотного розсіювання (ЕПЗР) камери та інші параметри, необхідні

для оцінки істинності вимірювань, що проводяться в ній, реалізуючи наступні радіофізичні методи: безпосереднього вимірювання розсіяної потужності; рухомого індикатора (метод КСВ); накладення діаграм спрямованості приймальної антени; свіп-генератора (метод частоти, що коливається); двох приймальних антен; вимірювань уявної ЕПЗР БЛК; наноімпульсних вимірювань та інших [6-10]. Цілком зрозуміло, що кожен з перерахованих методів вимірювань має свої недоліки і переваги перед іншими, в основному в зв'язку з видом використовуваної апаратури та її якістю, зумовленої відповідними ГОСТами та ДСТУ, що забезпечують заданий (штатний) режим достовірності вимірювань. У той же час очевидно, що будь-яка методика експериментального визначення якості БЛК може претендувати лише як на її алгоритм (на метрологічній мові це означає "програма") оцінки якості, а не на атестацію. У протилежному випадку необхідно задовольнити основні положення метрологічного забезпечення згідно [5]. Тому безпосередньо сама програма метрологічної атестації таких нестандартних засобів вимірювань має включати не тільки вступну частину, але й такі розділи, як:

- перелік метрологічних характеристик, що підлягають визначенню під час атестації;
- операції й засоби метрологічних атестацій;
- умови перевірки й підготовки метрологічної атестації;
- порядок проведення метрологічних атестацій та обробка результатів вимірювання;
- оформлення результатів метрологічних атестацій.

Також, відповідно до програми атестації, необхідно визначити діапазон робочих частот безлунної камери, її коефіцієнт безлунності, уявну ефективну площу розсіювання безлунної камери, розміри безлунної зони й ефективність екранування, застосовуючи, з вище зазначеними методами, визначення рівня відбитих сигналів у безлунній камері, наприклад, у процесі випробування конкретної спрямованої антени.

В результаті реалізації описаних вище операцій можна було судити про деяку інтегральну оцінку якості досліджень в БЛК, що проводяться, підсумкові результати яких традиційно вимагали наявності достовірності вимірювань, що ототожнюється з їх апостеріорною погрішністю. Причому саме поняття "погрішність результату вимірювання" корелюється з поняттям істинного значення, чого принципово неможливо досягти. Тому на даний

момент належний метрологічний контроль (у тому числі й засобів вимірювань) прийнято реалізовувати в умовах невизначеності по аналогії з міжнародними стандартами, що розробляються відповідно до правил, встановлених в Директивах ISO/МЕК [14].

ISO (Міжнародна організація по стандартизації) і МЕК (Міжнародна електротехнічна комісія) утворюють спеціалізовану систему всесвітньої стандартизації, тоді як національні комітети – члени ISO і МЕК, беруть участь в розробці міжнародних стандартів у рамках технічних комітетів, що засновуються відповідними організаціями з метою дослідження конкретних областей технічної діяльності. Існуючі технічні комітети ISO і МЕК співпрацюють в тих областях, які представляють загальний інтерес, а міжнародні, урядові і неурядові організації, що мають зв'язки з ISO і МЕК, також безпосередньо беруть участь в розробці нормативних документів. Зокрема, відповідальність за розробку міжнародних стандартів і керівництва в області оцінки відповідності несе Комітет ISO за оцінкою відповідності (КАСКО). Так Стандарт ISO/МЕК 17007 [14] розроблений Комітетом ISO за оцінкою відповідності (КАСКО). У нім містяться принципи і методичні вказівки по розробці нормативних документів, спрямованих на реалізацію (здійснення) діяльності за оцінкою відповідності при випробуваннях в процесі інспекційного контролю і видачі різних форм сертифікації. Кінцевим результатом такої діяльності прийнято вважати або підтвердження відповідності у формі декларування, звітів, сертифікатів, знаків відповідності або надання дозволів і ліцензій. Причому, наріжним моментом при русі вгору за ієрархією вимірів, (включаючи калібрувальні послуги нижчого рівня, промислові дослідження і розробки, комерційну і регулюючу діяльність на ринку, інженерну роботу в промисловості, академічні дослідження, промислові початкові еталони і калібрувальні лабораторії, національні лабораторії еталонів і так далі) з'явилося, незважаючи на понятійну складність сприйняття і методик оцінювання, введення поняття невизначеності вимірювань [15]. При цьому, базовий документ виданий в 1995 році Міжнародною організацією по стандартизації (Швейцарія) у вигляді "Керівництва по вираженню невизначеності вимірювання": Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. International Organization for Standardization, Switzerland, 1995" [16,17], розробка якого з 1993 року здійснювалася під егідою семи міжнародних організацій: Міжнародного бюро мір і ваг, Міжнародної електричної комісії, Між-

народної організації зі стандартизації, Міжнародної організації законодавчої метрології, Міжнародного союзу чистої і прикладної хімії, Міжнародного союзу чистої і прикладної фізики, Міжнародній федерації клінічної хімії. Цим документом передбачалося повне інформаційне забезпечення по складанню звітів про невизначеність вимірювань з метою реалізації міжнародного звіряння результатів вимірювань, в основі яких покладений універсальний метод для вираження і оцінювання невизначеності результату вимірювання, застосований до усіх видів вимірювань і усіх типів даних, використовуваних при вимірювань. Фактично, емпірично визначена величина, з позицій невизначеності вимірювання, повинна бути внутрішньо узгодженою, незалежно від компонентів її складових і їх (компонентів) можливого угруповання. Крім того, належним чином має бути передбачена необхідність забезпечення спадкоємності використання невизначеності вимірювання при безпосередньої оцінки одного результату в процесі оцінюванні невизначеності іншого вимірювання, в якому використовується попередній результат. Тому, в термін "невизначеність вимірювання", незважаючи на те, що поняття "невизначеність" можна трактувати як "сумнів", вноситься цілком обгрунтований деякий розкид значень, який однозначно належить вимірюваній величині [18].

На даний момент, згідно з вимогами ISO, в метрологічній системі України простежується упевнена тенденція формування основних положень по забезпеченню надійності і єдності вимірювань з позиції реалізації принципу "невизначеності вимірювань" при оцінці ЗВТ. Зокрема, з 01 січня 2016 року набув чинності Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 05.06.2014 р. № 1314 - VII [19] спільно з Постановою Кабінету Міністрів України від 4 червня 2015 р. N 374 "Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці" із змінами і доповненнями, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 3 жовтня 2018 року № 852, введення дії якого передбачене з 25.04.2019г. [20]. При цьому, чітко виписані поняття:

- єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в одиницях вимірювання, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі;

- засоби вимірювальної техніки – засоби вимірювань, вимірювальні

системи, матеріальні міри, стандартні зразки та будь-які частини засобів вимірювань або вимірювальних систем, якщо ці частини можуть бути об'єктом спеціальних вимог та окремого оцінювання відповідності;

- затвердження типу засобу вимірювальної техніки – рішення призначеного органу з оцінки відповідності, прийняте на основі звіту про оцінку типу, що тип засобу вимірювальної техніки відповідає встановленим вимогам і може використовуватися у сфері законодавчо регульованої метрології у спосіб, за якого він, як очікується, забезпечить надійні результати вимірювань протягом визначеного періоду часу;

- калібрувальна лабораторія – підприємство, організація або їх відокремлений підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

- калібрування – сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

Крім того, Національним агентством з акредитації України (Система управління НААУ) своїм наказом №244-Я від 23.04.2018 р. [21] опублікували Документ "Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (відповідно до ISO/IEC 17025:2017)". Цей документ носить інформаційний характер і містить вимоги до лабораторій, щоб вони могли продемонструвати, що лабораторії спроможні працювати компетентним чином і здатні отримувати достовірні результати. При цьому бажано використовувати стандарт ISO/IEC 17025:2017 англійською мовою (хоча і є українська версія [22] перекладу), а лабораторії, які відповідають цьому документу, також працюватимуть відповідно згідно принципів ISO 9001:2015. З введенням національного стандарту України ДСТУ ISO 9001:2015 (Системи управління якістю) [23] встановлені критерії системи менеджменту якості, по якій прийнято проходити сертифікацію світового рівня (хоч це і не є обов'язковою вимогою, але понад мільйон компаній і організацій більше 170 країн світу сертифіковані на відповідність стандарту ISO 9001). При цьому очевидно, що однією з найбільш серйозних перепон

на етапі виконання достовірності відповідності вимірювань є реалізація положень стандарту, що відповідає завданню калібрування необхідного вимірювального устаткування, яке безпосередньо використовується у випробувальних і калібрувальних лабораторіях з метою досягнення достовірності відповідності вимірювань за допомогою контрольних засобів вимірювань (КЗВ), які калібруються при забезпеченні єдності вимірювань, як правило, для пристроїв типу "лічильників води, лічильників газу і приладів перетворення об'єму, лічильників активної електричної енергії, теплотічильників, вимірювальних систем для безперервного і динамічного вимірювання кількості рідин (окрім води), автоматичних приладів зважування, таксометрів, матеріальних мір, приладів для вимірювання розмірів та аналізаторів відпрацьованих газів". Зрозуміло, що вище перелічене стосується сфери використання Міжнародної системи одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль, кандела), прийнятою Генеральною конференцією мір і ваг, і рекомендованою Міжнародною організацією законодавчої метрології. Проте і ця незначна частина стандартних засобів вимірювальної техніки, що претендує на періодичну перевірку з метою забезпечення істинності результатів вимірювань для наступної їх оцінки на достовірність відповідності вимірювань і визначення рівня невизначеності вимірювань, що проводяться, вимагає наявності вітчизняних лабораторій з калібрування і метрологічної єдності та простеження (МЄП) результатів вимірювань. При цьому, не кажучи вже про нестандартні засоби вимірювань, часто підлягають обов'язковій калібрування й ті ЗВТ, точність і невизначеність вимірювань яких впливають на достовірність представлених результатів, і/або вимагають додаткового калібрування вимірювального устаткування при встановленні МЄП емпіричних результатів Тут, відповідно до [19, 21-25], приведена вище термінологію відповідно використовують в наступній редакції:

1. Калібрування засобів вимірювань – сукупність операцій, що виконуються в цілях визначення дійсних значень метрологічних характеристик засобів вимірювань;

2. Перевірка засобів вимірювань – сукупність операцій, що виконуються в цілях підтвердження відповідності засобів вимірювань метрологічним вимогам;

3. Простеження – властивість еталону одиниці величини, засоби вимірювань або результату вимірювань, що полягає в документально підтвер-

дженому встановленні їх зв'язку з державним первинним еталоном або національним первинним еталоном іноземної держави відповідної одиниці величини за допомогою звірення еталонів одиниць величин, перевірки, калібрування засобів вимірювань;

4. Метрологічне простеження (МП) – властивість результату вимірювання, відповідно до якого результат може бути співвіднесений з основою для порівняння через документований безперервний ланцюг калібрувань, кожна з яких вносить вклад в невизначеність вимірювань. При цьому МП вимагає наявності встановленої калібрувальної ієрархії і/або перевіркової схеми, а у визначення "основою для порівняння" може бути визначення одиниці вимірювання через її практичну реалізацію або методику вимірювання, або еталон.

Отже, необхідне простеження результатів вимірювань до Міжнародної системи одиниць (СІ) здійснюється за допомогою калібрування, компетентною лабораторією, що надається, використанням сертифікованих стандартних зразків з сертифікованими значеннями компетентного виробника і шляхом безпосередньої реалізації одиниць СІ, підтвердженої прямими або непрямыми звірненнями з національними або міжнародними еталонами. Усе це фактично вимагає розробки і застосування атестованих методик вимірювань і/або методик прямих вимірювань, включених в експлуатаційну документацію засобів вимірювань затвердженого типу з використанням повірених засобів вимірювань затвердженого типу при безпосередній реалізації калібраторів і стандартних зразків затвердженого типу і/або еталонів, що задовольняють державним перевірочним схемам з обов'язковим використанням системи одиниць СІ.

Проте досі простежується не деяке сприйняття, а частенько і протиріччя між традиційним використанням терміну "погрішність вимірювання" і сучасним – "невизначеність вимірювання", що особливо проявляються у сфері радіофізичних [26] вимірювань при використанні передусім не стандартних засобів вимірювань, метрологічне забезпечення розробки, виготовлення і експлуатації яких раніше реалізували згідно ГОСТ [5], пізніше по ГОСТ 8.326 - 89 [1], а далі відповідно до [19], де "результати вимірювань можуть бути використані у сфері законодавчо регульованої метрології за умови, що для таких результатів відомі відповідні характеристики похибок або невизначеність вимірювань" (див. Стаття 7. Вимірювання). Фактично з

терміном "невизначеність вимірювання", з'явився цілий напрям в техніці вимірювань, який використовує не стільки нові аналітичні вирази і обчислення, скільки реалізує трансформацію класичного погляду на парадигму вимірювання, обумовленого інтеграційним процесом міжнародного співтовариства у напрямі гармонізації стандартів та інших нормативних документів в області метрології з метою усунення бар'єрів в торговельній, промисловій, науковій і культурній співпраці. Саме тому в ході сучасних подій і явищ парадигма процесу вимірювань через реалізацію таких термінів безпосередньо закладає в його поняття сенс характерного (можливого) розкиду значень при безпосередніх вимірюваннях, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині. Отже, безпосередній детальний аналіз радіоелектронних вимірювань з позицій їх адекватності і достовірності дозволяє констатувати, що поняття "невизначеність вимірювання", за відсутності якихось нових аналітичних виразів і обчислень, відображає деяку трансформацію накопичених знань і досвіду у сфері необхідних умов вимірювання, а як достатня умова реалізації достовірності вимірювання потрібна апостеріорна оцінка у вигляді деякої (наполягаємо, імовірнісної) міри розсіяння результатів вимірювань. Як приклад, експериментально використовуючи оптимальну фільтрацію кореляційним приймачем, граничний пристрій якого налаштований відповідно до критерію Неймана-Пірсона або за критерієм ідеального спостерігача, відповідний рівень достовірності тривоги реалізується по апіорі заданій величині ймовірності правильного виявлення або ймовірності помилкової тривоги, що тотожно реалізації позицій принципу невизначеності конкретного вимірювального процесу, наприклад, при митному контролі [27].

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Парадигма достовірності відповідності вимірювань у процесі їх реалізації відповідно до сучасних вимог останніх рекомендацій ISO в Україні забезпечується законодавчими вимогами по створенню лабораторій з калібрування [24]. При цьому ці служби з великого різноманіття вимірювань здатні охоплювати не малу, але обмежену частину, пов'язану із з'ясуванням достовірності заходів вимірювань відповідно до системи СІ. На жаль, радіоелектронні ВМ і ЗВТ ще не забезпечені достатньою нормативною базою при конкретному застосуванні і реалізації принципу невизначеності вимірювання. При цьому доцільно залишити представлення невизначеність вимірювань, (як і

для нижчих рівнях ієрархічного ланцюга вимірювань і апріорної доступності), у вигляді опублікованих звітів з калібрування і методах випробувань, використаній специфікації і сертифікатам відносно калібрування і випробувань, детального керівництва з експлуатації, з вказівками міжнародних і національних стандартів і локальних регулюючих актів. Фактично можна констатувати, що адекватність і достовірність відповідності радіоелектронних вимірювань у рамках використання принципу невизначеності слід ототожнювати як з представленням апостеріорних результатів вимірювань, так і з виробленням рішення щодо їм погрішностей і можливих інтервалах їх (погрішностей) змін у виді деяких $\pm\Delta$, що безпосередньо і відображає наявність обліку факту невизначеності вимірювань.

Список використаних джерел:

1. Метрологическая аттестация средств измерений. State system for ensuring the uniformity of measurements. Metrological certification of measuring instruments. [Текст]: ГОСТ 8.326 – 89: введ. 01. 01. 91. – М: Изд-во стандартов, 1991.
2. ISO 5725-1, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions. (ISO 5725-1 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений — Часть 1: Общие положения и определения)
3. ISO/IEC Guide 99:2007, International Vocabulary of Metrology (VIM) (Руководство ISO/МЕК 99 Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)).
4. Строганова Е.П. Развитие принципа достоверности подтверждения соответствия. // Технологии информационного общества. Спец. выпуск Т-Comm, август 2009. С. 138-140.
5. Метрологическое обеспечение разработки, изготовления и эксплуатации нестандартизованных средств измерений [Текст]: ГОСТ 8.326 – 78: введ. 01. 07. 79. – М: Изд-во стандартов, 1984.
6. Торгованов, В. А. Безэховые камеры [Текст] / В. А. Торгованов // Зарубеж. радиоэлектроника. 1974. № 12. – С. 20 – 46.
7. Тарасенко Ю.С. Фізичні основи радіолокації. Дніпро: Пороги, 2011. 487 с
8. Маслов М.Ю., Самоков Л.М., Скачков Д.В. Испытательная безэховая камера диапазона 30..1200 МГц. Технологии информационного общества. Спец. выпуск Т-Comm, август 2009. С. 123-128.
9. Наконечный В.С., Присяжный А.Е., Побережный А.А. Электроди-

намическое моделирование с использованием безэхових камер СВЧ. Методика оценки коэффициента безэховости. Харківський університет повітряних сил. Системи обробки інформації. 2005, Вип. 9 (49). С.116-123.

10. Балабуха Н.П., Меньших Н.Л., Солосин В.С. Электромагнитное моделирование низкочастотной рупорной безэховой камеры. Пятнадцатая ежегодная научная конференция ИТПЭ РАН при поддержке IEEE-APSL-LEOS-CHARTER Сборник тезисов докладов. Под ред. д.ф.-м.н. В.Н. Киселя.– М.: ИТПЭ РАН. 2014. С. 51-53.

11. А.с. №1095107 СССР. Способ определения характеристик приёмопередающей антенны [Текст] / Ю. С. Тарасенко, В. В. Турчин. (СССР). – опубл. 30.05.84, Бюл. № 20.

12. А.с. №1141319 СССР. Способ определения концентрации электронов в ионосферной плазме [Текст] / Ю.С. Тарасенко, В.В. Турчин (СССР). – опубл. 23.02.85, Бюл. №7.

13. А.с. №759002 СССР. Устройство для измерения рассеивающих свойств радиолокационной цели с плазменной оболочкой [Текст] / Ф.И. Коломойцев, Ю.С. Тарасенко, В.В. Турчин / (СССР). – №759002 заявл. 28.08.78.

14. ISO/МЕК 17007:2009 «Оценка соответствия. Методические указания по разработке нормативных документов, предназначенных для применения при оценке соответствия» (ISO/IEC 17007:2009 «Conformity assessment — Guidance for drafting normative documents suitable for conformity assessment»).

15. ISO/МЕК 17000:2004 Оценка соответствия. Словарь и общие принципы (ISO/IEC 17000:2004, Conformity assessment — Vocabulary and general principles).

16. ISO/IEC Guide 98-1:2009, Uncertainty of measurement - Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement, IDT. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. М. Стандартиформ. 2017.

17. ISO/IEC 98-3, Uncertainty of measurement — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Руководство ISO/МЕК 98-3 Неопределенность измерений — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM:1995).

18. Походун А.И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 112 с.

19 Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 15 січня 2015 року N 124-VIII, від 22 червня 2017 року N 2119-VIII, від 9 листопада 2017 ро-

ку N 2189-VIII (зміни, внесені підпунктом 9 пункту 8 розділу VI Закону України від 9 листопада 2017 року N 2189-VIII, вводяться в дію з 1 травня 2019 року, враховуючи зміни, внесені Законом України від 7 червня 2018 року N 2454-VIII), від 6 червня 2019 року N 2740-VIII (зміни, внесені підпунктами 2, 3 і 6 - 10 пункту 13 розділу I Закону України від 6 червня 2019 року N 2740-VIII, набирають чинності з 3 липня 2020 року)

20. Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці. Постанова Кабінет Міністрів України від 4 червня 2015 р. N 374 Із змінами і доповненнями, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 3 жовтня 2018 року N 852, действуєт с 25.04.2019. Київ КМ України.

21. «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій» (відповідно до ISO/IEC 17025:2017). Національне агентство з акредитації України (НААУ). Система управління НААУ. Наказ №244-Я від 23.04.2018 г

22. Авторський переклад міжнародного стандарту ISO/IEC 17025:2017 (ДСТУ ISO/IEC 17025:2017). «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій». Авторський переклад: д. ф.-м. н., проф. В.М. Новіков. Київ – 2017.

23. ДСТУ ISO 9001:2015. Національний Стандарт України. Системи управління якістю. Вимоги. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Відповідає офіційному тексту. Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» (ДП НДІ «Система»). Надано чинності: наказ ДП «УкрНДНЦ» від 31 грудня 2015 р. № 221 з 2016-07-01. (ДП «УкрНДНЦ» <http://uas.org.ua>).

24. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Межгосударственный стандарт Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Форма доступу: standartno.by. М. СтандартИнформ 2020. Дата актуализации: 01.07.2020.

25. Текст Сравнительного анализа ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 с ГОСТ ISO/МЕК 17025-2009МКС 03.12.20 Дата введения 2019-09-01 Подготовлен Республиканским унитарным предприятием "Белорусский государственный центр аккредитации" (Государственное предприятие "БГЦА") на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта. М.: Стандартинформ, 2020.

26. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия. Издание 2-е, дополненное. В 2-х книгах. Книга 1. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 818с.

27. Тарасенко Ю.С., Стелюк Б.Б., Прокопович-Ткаченко Д.І. Сучасні

підходи достовірності митного контролю оптично непрозорих об'єктів. / «Сучасні підходи до соціально-економічного, інформаційного та науково-технічного розвитку суб'єктів національного господарства»: монографія / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. – ISBN 978-617-518-381-6 Дніпро: Пороги, 2020. – 520 с. С.416-427.

References:

1. Metrolohichna atestatsiya zasobiv vymiryuval'noyi tekhniky. State system for en-suring the uniformity of measurements. Metrological certification of measuring instruments. [Tekst]: HOST 8.326 - 89: vved. 01. 01. 91. - M: Yzd-vo standartamy-tov, 1991.

2. ISO 5725-1, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions. (ISO 5725-1 Tochnist' (pravyl'nist' i pretsyziynist') metodiv ta rezul'tativ vymiryuvan' - Chastyna 1: Zahal'ni polozhennya ta vyznachennya) *

3. ISO / IEC Guide 99: 2007, International Vocabulary of Metrology (VIM) (ISO / IEC Guide 99 Mizhnarodnyy slovnyk z metrolohiyi - Osnovni i zahal'ni ponyattya i vidpovidni terminy (VIM)).

4. Strohanova Ye.P. Rozvytok pryntsyphu dostovirnosti pidtverdzhennya vidpovidnosti. // Tekhnolohiyi informatsiynoho suspil'stva. Spetsvypusk T-Comm, serpen' 2009. S. 138-140.

5. Metrolohichne zabezpechennya rozrobky, vyhotovlennya i ekspluatatsiyi nestandratizovanykh zasobiv vymiryuvan' [Tekst]: HOST 8.326 - 78: vved. 01. 07. 79. - M: Yzd-vo standartov, 1984.

6. torhivli, V. A. bezlunna kamery [Tekst] / V. A. torhivli // zarubizhzhya. radioelektronika. 1974. № 12. - S. 20 - 46.

7. Tarasenko Yu.S. Fizychni osnovy radiolokatsiyi. Dnipro: Porohy, 2011. 487 s

8. Maslov M.Yu., Samokov L.M., Skachkov D.V. Vyprobuval'na bezekhovaya kamera diapazonu 30..1200 MHz. Tekhnolohiyi informatsiynoho zahal'nostva. Spetsvypusk T-Comm, serpen' 2009. S. 123-128.

9. Nakonechnyy V.S., Prysyzhnyy A.E., Poberezhnyy A.A. Elektrodynamicheskikh modelyuvannya z vykorystanniam bezekhovikh kamer SVCH. Metodyka otsinky koefitsiyenta bezlunna. Kharkivs'kyy universytet Povitryanykh syl. Systemy obrobky informatsyy. 2005, Vyp. 9 (49). S.116-123.

10. Balabukha N.P., Menshykh N.L., Solosin V.S. Elektromahnitne modelyuvannya nyz'kochastotnoyi ruporno-yi bezlunniy kamery. P'yatnadtsyata shchorichna naukova konferentsiya ITPE RAN za pidtrymky IEEE-APS-LEOS-CHAPTER Zbirnyk tez dopovidey. Pid red. d.f.-m.n. V.N. Kisi-lya.- M .: ITPE RAN. 2014. S. 51-53.

-
11. A.s. №1095107 SRSR. Sposib vyznachennya kharakterystyk pryymal'no-peredaval'noyi anteny [Tekst] / Yu.S. Tarasenko, V.V. Turchyn. (SRSR). - opubl. 30.05.84, Byul. № 20.
 12. A.s. №1141319 SRSR. Sposib vyznachennya kontsentratsiyi elektroniv v ionosferniy plazmi [Tekst] / Yu.S. Tarasenko, V.V. Turchyn (SRSR). - opubl. 23.02.85, Byul. №7.
 13. A.s. №759002 SRSR. Prystriy dlya vymiryuvannya rozsiyuyut' vlastyovostey radiolokatsiyanoi tsili z plazmovoyi obolonkoyu [Tekst] / F.I. Kolomoitsev, Yu.S. Tarasenko, V.V. Turchyn / (SRSR). - №759002 zayavl. 28.08.78.
 14. ISO / IEC 17007: 2009 «Otsinka vidpovidnosti. Metodychni vkapiznannya po rozrobtsi normatyvnykh dokumentiv, pryznachenykh dlya prytransformatsiynykh zmin pry otsintsi vidpovidnosti »(ISO / IEC 17007: 2009« Conformity assessment - Guidance for drafting normative documents suitable for conformity assessment »).
 15. ISO / IEC 17000: 2004 Otsinka vidpovidnosti. Slovnyk i zahal'ni pryntsypy (ISO / IEC 17000: 2004, Conformity assessment - Vocabulary and general principles).
 16. ISO / IEC Guide 98-1: 2009 Uncertainty of measurement - Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement, IDT. Nevyznachenyy-nist' vymiryuvannya. Chastyna 1. Vvedennya v kerivnytstva za vyslovom neopre-nosti vymiryuvannya. M. Standartyinform. 2017.
 17. ISO / IEC 98-3, Uncertainty of measurement - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995) (ISO / IEC Guide 98-3 Ni-vyznachenist' vymiryuvan' - Chastyna 3: Kerivnytstvo po vyrashennyu neopre-nosti vymiryuvan' (GUM: 1995).
 18. Pokhodun A.I. Eksperymental'ni metody doslidzhen'. Yak i pokhybky ineopredelennosti vymiryuvan'. Navchal'nyy posibnyk. SPb: SPbHU ITMO, 2006. 112 s.
 19. Zakonu Ukrainy «Pro metrolohiyu ta metrolohichnu diyal'nist'». Iz zminami y dopovnennya, vnesenymy Zakonamy Ukrainy vid 15 sichnya 2015 roku N 124-VIII, vid 22 chervnya 2017 roku N 2119-VIII, vid 9 lystopada 2017 roku N 2189-VIII (Zminy, vneseni pidpunktom 9 punktu 8 rozdil VI Zakonu Ukrainy vid 9 lystopada 2017 roku N 2189-VIII, vvodyat'sya v diyu z 1 travnya 2019 roku, vrakhovuyuchy Zminy, vneseni Zakonom Ukrainy vid 7 chervnya 2018 roku N 2454-VIII), vid 6 chervnya 2019 roku N 2740-VIII (Zminy, vneseni pidpunktami 2 , 3 y 6 - 10 punktu 13 rozdil I Zakonu Ukrainy vid 6 chervnya 2019 roku N 2740-VIII, nabirayut' chynnosti z 3 lypnya 2020 roku)
 20. Pro pohodzhennya materialiv Pereliku katehoriy zakonodavcho rehul'ovanosti zasobiv vymiryuval'noyi tekhniky, chto pidlyahayut' periodichniy

povirtsi. Postu-nova Kabinet Ministriv Ukrainy ot 4 chervnya 2015-ho. N 374 Iz zminami y do-povnennyami, vnesenymy postanovyv Kabinetu ministriv Ukrainy vid 3 zho-vtnya 2018 roku N 852, diye z 25.04.2019. Kyiv KM Ukrainy.

21. «Zahal'ni vymohy do kompetentnosti Vyprobuval'nyy ta kalibruval'nykh laboratoriy» (vidpovidno do ISO / IEC 17025 do: 2017). Natsional'ne ahentstvo z akredytatsiyi Ukrainy (NAAU). Systema upravlinnya NA-AU. Nakaz №244-YA vid 23.04.2018 r

23. DSTU ISO 9001 diye do: 2015. Natsional'nyy Standart Ukrainy. Systemy upravlinnya yakistyu. Vymohy. DSTU ISO 9001 diye do: 2015 (ISO 9001: 2015-ho, IDT). Vidpovidaye Ofitsynomu tekstu. Derzhavne pidpryyemstvo «Naukovo-doslidnyy instytut metrolohiyi vymiryuval'nykh y upravlyayuchykh system» (DP NDI «Si-stema»). Nadano chynnosti: nakaz DP «UkrNDNTS» vid 31 hrudnya 2015-ho. № 221 z 2016-07-01. (DP «UkrNDNTS» <http://uas.org.ua>).

24. DSTU ISO / IEC 17025-2019 Mizhderzhavnyy standart Zahal'ni vymohy do kompetentnosti vyprobuval'nykh ta kalibruval'nykh laboratoriy. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

25. Tekst Porivnyal'noho analizu DSTU ISO / IEC 17025-2019 c HOST ISO / IEC 17025-2009MKS 03.12.20 Data vvedennya 2019-09-01 Pidhotovleno Respublikans'kym unitarnym pidpryyemstvom "Bilorus'kyy derzhavnym-nyy tsentr akredytatsiyi" (Derzhavne pidpryyemstvo "BHTSA") na osno-ve vlasnoho perekladu na rosiys'ku movu anhlomovnoyi versiyi standartu. M.: Standartynform, 2020.

26. Bilous O.I., Merdanya M.K., Shvedov S.V. SVCH-elektronika v si-stem radiolokatsiyi i zv'yazku. Tekhnichna entsyklopediya. Vydannya 2-e, dokonannya. U 2-kh knyhakh. Knyha 1. Moskva: TEKHNOSFERA, 2018. – 818 p.

27. Tarasenko Yu.S., Stelyuk B.B., Prokopovych-Tkachenko D.I. Suchasni pidkhodi dostovirnosti mytneho kontrolyu optychno neprozorikh ob'yektiv. / «Suchasni pidkhodi do sotsial'no-ekonomichnoho, informatsiynoho ta naukovo-tekhnichnoho rozvytku sub'yektiv natsional'noho hospodarstva»: monohrafiya / za red. L.M. Savchuk, L.M. Bandorinoyi. - ISBN 978-617-518-381-6 Dnipro: Porohy, 2020. pp.416-427

Шановні автори!

Просимо враховувати такі вимоги до рукописів статей і порядку їх подання до друку:

1. Приймаються роботи, написані українською, російською, англійською мовами, обсягом 0,5–1 авт. арк.

2. Рукопис статті повинен мати такі елементи:

– на початку статті **англійською мовою**: прізвище ініціали автора, назва статті, адресні дані авторів (назва установи, закладу, відомча належність, адреса організації, місто, країна), розширена англомова анотація (від 1800 знаків), ключові слова, пристатейні списки використаних джерел у романському алфавіті (латиницею);

– **прізвище та ініціали автора, науковий ступінь, посада (укр. мовою);**

– **назва статті (українською мовою);**

– **УДК;**

– **анотація українською мовою (3–5 рядків);**

– **основний текст статті;**

– **список використаних джерел.**

3. Основний текст статті складається з таких структурних елементів:

Ключові слова (4–5 слів).

Постановка проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета статті.

Виклад основного матеріалу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Список використаних джерел оформлюється відповідно до ДСТУ 8302:2015. Зазначені елементи виділяються в рукописі **напівжирним шрифтом**.

4. Текст статті має бути набраний в текстовому редакторі Microsoft Word. Поля з усіх сторін – 20 мм. Шрифт – Times New Roman 14 з інтервалом 1,5.

Посилання на літературу здійснюються безпосередньо в тексті. У квадратних дужках зазначається порядковий номер використаного джерела в порядку згадування, а через кому – конкретна сторінка.

5. До редакції подаються:

– **паперовий варіант статті за підписом автора;**

– **електронний варіант статті;**

– **завірена рецензія доктора або кандидата наук відповідного профілю (крім випадків, коли автор сам має науковий ступінь доктора наук);**

– **довідка** про автора українською мовою (прізвище, ім'я, по батькові повністю, організація, посада, адреса, науковий ступінь, вчене звання, контактні телефони, електронна адреса).

Передрук матеріалів дозволяється лише за письмової згоди редакції.

Матеріали, що публікуються, відображають позицію автора, яка може не збігатися з поглядом редакції. За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор.

Редакція залишає за собою право наукового та літературного редагування статей без додаткової консультації з автором. Листування з читачами ведеться лише на сторінках журналу.

Системи та технології, № 2 (60), 2020