

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ С. П. КОРОЛЬОВА

**ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ,
ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

26 (I)

Житомир
2024

Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : збірник наукових праць. Вип. 26 (I) / Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова. – Житомир : ЖВІ, 2024. – 128 с. – ISSN 2076-1546. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2024.26>

Наказами Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 та від 15.04.2021 № 420 збірник наукових праць включений у категорію «Б» Переліку наукових фахових видань України.

Науковий профіль видання:

122 – Комп’ютерні науки

125 – Кібербезпека

255 – озброєння та військова техніка

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова, протокол № 13 від 17.07.2024.

Головний редактор – ФРИЗ С. П., заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

Відповідальний секретар – СТАВІСЮК Р. Л., кандидат технічних наук, старший дослідник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

Члени редакційної колегії:

ВАСЮТА К. С., заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна);

ГРИЩУК Р. В., заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор (Військова академія (м. Одеса), Україна);

ЖУРАВСЬКИЙ Ю. В., доктор технічних наук, старший науковий співробітник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

КАНЕВСЬКИЙ Л. Б., кандидат технічних наук, доцент (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

КОВБАСЮК С. В., лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, старший науковий співробітник (Державний університет «Житомирська політехніка», Україна);

МЕРЧИК Зигмунт, доктор технічних наук, професор (Військова технічна академія, Республіка Польща);

МОСОВ С. П., заслужений діяч науки і техніки України, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, доктор військових наук, професор (Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна);

ПІЛЬКЕВИЧ І. А., заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

САМЧИШИН О. В., кандидат технічних наук, старший дослідник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

ФЕДОРЧУК Д. Л., кандидат технічних наук, старший дослідник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

ISSN 2076-1546

Наукові статті, включені до збірника наукових праць, пройшли рецензування.

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення про державну реєстрацію № 1181 від 11.04.2024 (ідентифікатор медіа – R30-03932).

ЗМІСТ

Бугайов М. В., Молодецький Б. В. Алгоритм автоматичного виявлення сигналів командно-телеметричних радіоліній безпілотних літальних апаратів в умовах складної радіоелектронної обстановки	4
Пількевич І. А., Савчук В. С., Павленко М. М., Лобода В. В. Автоматизація процесу розповсюдження інформаційних матеріалів у соціальних мережах	20
Котенко В. М., Дзюбенко В. В., Кудряшов Ю. О., Самонюк О. В., Прокопович В. Д. Аналіз спектрів багаточастотних амплітудно-модульованих радіосигналів	30
Іщенко Д. А., Федорчук Д. Л., Маришук Л. М. Підхід до вдосконалення термінологічної системи з радіоелектронної боротьби	40
Горбач В. Я., Горбач Т. П., Білоус К. М. Перспективи розвитку наземних роботизованих систем	58
Цибуля С. А., Тимчук В. Ю., Цибуля Н. С. Модель нейронної мережі для виявлення замаскованих об'єктів	69
Рихальський О. Р., Каращук Н. М., Нетребко Р. В. Аналітичне дослідження впливу випромінювання високовольтних ліній електропередач на формування гармонічного випромінювання в іоносфері	81
Тристан А. В., Ларін В. В., Гмиря В. П., Стріха С. В., Костащук М. М., Піонтківський П. М. Форсайт як інноваційний інструмент планування та реалізації наукових технологій в оборонно-промисловому комплексі	93
Іщенко Д. А., Стрінада В. В., Левченко О. В. Методичний підхід до формування задуму розвідувально-ударного комплексу за результатами аналізу тенденцій збройної боротьби	107
Автори випуску	122
Вимоги до оформлення матеріалів	127

М. В. Бугайов, Б. В. Молодецький

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ КОМАНДНО-ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ РАДІОЛІНІЙ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ

Останнім часом зростає інтенсивність застосування безпілотних літальних апаратів як для ведення розвідки, так і для завдання вогневого ураження. Управління такими апаратами та передавання телеметричної інформації здійснюється з використанням суміщеної командно-телеметричної радіолінії та технології псевдовипадкової перебудови робочої частоти. У таких умовах особливо актуальним стає завдання розроблення автоматичних алгоритмів виявлення та розділення сигналів командно-телеметричної радіолінії для малогабаритних засобів радіомоніторингу.

Метою роботи є розширення можливостей малогабаритних засобів радіомоніторингу щодо виявлення радіосигналів безпілотних літальних апаратів в умовах складної радіоелектронної обстановки за рахунок автоматизації процесів оброблення сигналів.

Формально завдання дослідження зводиться до виявлення та розділення кількох сигналів із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти в одній смузі частот. Для його вирішення необхідно виявити частотні канали, оцінити частотні та, за необхідності, часові й модуляційні параметри сигналів у них. Оцінки значень параметрів сигналів записують в асоціативні масиви. У роботі запропоновано схему алгоритму автоматичного виявлення та розділення сигналів із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти, а також структуру масиву з результатами аналізу смуги частот.

У ході дослідження розробленого алгоритму було розглянуто практично важливий варіант розділення сигналів командно-телеметричних радіоліній із псевдовипадковою перебудовою робочої частоти за шириною спектра частотного елемента та значенням відношення сигнал-шум у частотному каналі, оскільки ці ознаки можуть бути досить просто виділені в частотній області. Розділення сигналів командно-телеметричних радіоліній проводилося шляхом кластерного аналізу діаграм розсіювання пар значень оцінок параметрів із використанням моделі суміші гаусевих розподілів.

Розроблений алгоритм може бути реалізований у сучасних і перспективних малогабаритних засобах радіомоніторингу для автоматичного виявлення та визначення кількості безпілотних літальних апаратів за сигналами їх командно-телеметричної радіолінії, зокрема в умовах апріорної невизначеності щодо значень параметрів сигналів.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; командно-телеметрична радіолінія; періодограма; частотний канал; псевдовипадкова перебудова робочої частоти.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Перебіг російсько-української війни демонструє широке застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) як для ведення розвідки, так і для завдання вогневого ураження. причому інтенсивність їх застосування

© М. В. Бугайов, Б. В. Молодецький, 2024

постійно зростає. Управління БпЛА та передавання телеметричної інформації здійснюється, як правило, із використанням суміщеної командно-телеметричної радіолінії (КТРЛ) у діапазоні частот 700–1000 МГц. Такі радіолінії практично завжди організовують із використанням технології псевдовипадкової перебудови робочої частоти (ППРЧ). У цих умовах на один портативний малогабаритний пристрій радіомоніторингу може надходити кілька сигналів із ППРЧ, причому смуги їх частот можуть перекриватися і, за неможливості пеленгування сигналів, їх розділення в реальному масштабі часу буде суттєво ускладненим. Тому розроблення автоматичних алгоритмів виявлення та розділення сигналів КТРЛ БпЛА з ППРЧ для малогабаритних засобів радіомоніторингу в умовах складної радіоелектронної обстановки (РЕО) є актуальним науково-прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням виявлення та розпізнавання радіосигналів БпЛА присвячено велику кількість наукових публікацій як вітчизняних, так і закордонних дослідників. Зокрема, у [1] для виявлення послідовності ППРЧ КТРЛ БпЛА використано спектрограму. Часові межі частотних елементів визначаються з використанням автокореляційної функції. У роботі [2] проаналізовано методи виявлення малорозмірних БпЛА в радіочастотному діапазоні. Зроблено висновок про доцільність використання пошукових методів за частотою і безпошукових методів виявлення за напрямком. У [3] запропоновано підхід до створення бази даних (БД) для автоматизованого розпізнавання типу безпілотного авіаційного комплексу за його радіосигналами. У [4–5] запропоновано виявляти та класифікувати БпЛА за радіосигналами передавання відеоінформації. У [6] наведено підхід до класифікації радіосигналів безпілотних апаратів за протоколами передачі даних.

Останнім часом особлива увага приділяється використанню алгоритмів машинного навчання для аналізу радіосигналів БпЛА. Так, у [7] для виявлення та ідентифікації безпілотників за їх радіосигналами використано алгоритми машинного навчання. Як ознаки використано схему модуляції та циклостационарні характеристики. У [8] для класифікації радіосигналів БпЛА запропоновано підхід ієрархічного машинного навчання із використанням чотирьох класифікаторів. У [9–11] для розпізнавання безпілотників за їх радіосигналами використано згорткові нейронні мережі. У [12] запропоновано виявляти радіосигнали БпЛА із використанням глибокого навчання. Ознаки виділяються із періодограми Уелча та подаються в три оптимізовані нейронні мережі для їх класифікації. У [13] запропоновано згорткову нейронну мережу RF-UAVNet, а в [14] для розпізнавання БпЛА за їх радіосигналами використано багатоканальну глибоку нейронну мережу. У [15] запропоновано метод виявлення радіосигналів із використанням циклічних спектральних частот та загорткової нейронної мережі AlexNet. У [16] розроблено згорткову нейронну мережу для розпізнавання радіосигналів навіть у разі від'ємних значень відношення сигнал-шум (ВСШ).

Проте в розглянутих публікаціях не вирішено завдання автоматизації процесу виявлення та визначення кількості БпЛА за радіосигналами їх КТРЛ в умовах складної РЕО.

Формулювання завдання дослідження. У заданій ділянці радіочастотного спектра, що визначається смугою пропускання засобу радіомоніторингу, може розміщуватися

кілька сигналів КТРЛ БпЛА із ППРЧ. Спектри сигналів можуть перекриватися. Параметри сигналів та шуму є невідомими. Причому припускається, що рівень шуму є практично рівномірним в усій смузі частот аналізу. Необхідно автоматично та в реальному масштабі часу на основі аналізу прийнятих радіосигналів виявити та визначити кількість тих, що відповідають КТРЛ БпЛА.

Метою статті є розширення можливостей малогабаритних засобів радіомоніторингу щодо виявлення радіосигналів БпЛА в умовах складної РЕО за рахунок автоматизації процесів оброблення сигналів.

Виклад основного матеріалу

1. Узагальнений алгоритм виявлення-розділення сигналів із ППРЧ

Особливостями ведення спостереження малогабаритними (портативними) засобами радіомоніторингу є відносно невелика його тривалість через малий час польоту БпЛА в зоні енергетичної доступності засобу. Смуга миттєвого огляду пристрою радіомоніторингу становить, зазвичай, кілька десятків мегагерц.

Основними параметрами радіосигналів із ППРЧ, які можуть бути використані для розділення окремих КТРЛ, є:

ширина спектра частотного елемента (ЧЕ) – ΔF ;

потужність прийнятого сигналу – P ;

крок сітки частот – Δf ;

кількість частот ППРЧ – M ;

тривалість ЧЕ τ або вектор таких значень \mathbf{T} ;

вид модуляції m та вектор значень параметрів модуляції \mathbf{R} .

Модель прийнятої на одну антену сигнальної суміші можна подати в такому вигляді:

$$x(t) = \sum_{i=1}^K s_i(t) * h_i(t) + \xi(t), \quad (1)$$

де K – кількість сигналів;

$s_i(t)$ – i -й сигнал КТРЛ БпЛА;

$h_i(t)$ – імпульсна характеристика каналу поширення i -го сигналу;

$\xi(t)$ – білий гаусівський шум.

Варто зауважити, що не всі виявлені в смузі частот аналізу сигнали $s_i(t)$ обов'язково належатимуть КТРЛ БпЛА. В умовах складної РЕО в смугу приймача можуть попадати інші радіосигнали, в основному на одній несучій. Тому алгоритм повинен відфільтровувати такі сигнали за ознакою деякого максимального часу їх передавання на одній частоті. Тобто, якщо протягом кількох послідовних фрагментів сигналу, що аналізуються, частота деякого сигналу залишається незмінною, то його не беруть до уваги.

Тривалість ЧЕ може бути сталою або змінюватися в деяких межах для конкретної КТРЛ БпЛА. Тому в загальному випадку виміряні значення тривалостей ЧЕ для кожного часового фрагмента доцільно описати масивом \mathbf{T} . Знаючи кількість частот ППРЧ M та крок сітки частот Δf , можна оцінити ширину смуги, у якій здійснюється передавання сигналу (ширину накопиченого спектра), як $\Delta\Pi = (M-1)\Delta f + \Delta F$.

Крок сітки частот, як ознака розділення сигналів КТРЛ, може використовуватися лише спільно з іншими ознаками, оскільки радіосигнали багатьох БпЛА мають однакове значення цього параметра [17]. Його можна розрахувати після оцінювання значень усіх M центральних частот сигналу з ППРЧ f_0 .

У КТРЛ найчастіше використовуються такі види модуляції: двопозиційна частотна маніпуляція (ЧМн), частотна маніпуляція із мінімальним частотним зсувом, гаусівська частотна маніпуляція із мінімальним частотним зсувом [18], а також лінійна частотна модуляція (ЛЧМ, стандарт LoRa) [19].

Формально завдання дослідження зводиться до аналізу широкої смуги частот. Питання виявлення, розділення та класифікації радіосигналів в умовах апріорної невизначеності в широкій смузі частот розглянуто в численних роботах [20–24]. Проте завдання розділення кількох сигналів із ППРЧ в одній смузі частот потребує додаткового опрацювання з огляду на потреби практики.

Для виконання цього завдання передусім необхідно виявити частотні канали й оцінити частотні та, за необхідності, часові й модуляційні параметри сигналів у них. У ході оброблення сигналів із ППРЧ в кожному каналі будуть підлягати аналізу ЧЕ. Тому формально після оброблення фрагмента сигналу і виявлення частотних каналів кожному визначеному ЧЕ (частотному каналу) необхідно присвоїти деяку “мітку” про його належність до окремої КТРЛ (окремого сигналу) на основі значень оцінок параметрів. Якщо в ході оброблення поточного фрагмента сигналу це неможливо зробити однозначно, то необхідно накопичити більше вимірів, що дозволить точніше оцінити значення параметрів сигналів й асоціювати ЧЕ з окремою КТРЛ. Кількість унікальних “міток” буде дорівнювати кількості КТРЛ.

Утворення частотних каналів дозволяє проводити фільтрацію сигналів та оцінювати тривалості ЧЕ. Через вплив випадкових факторів виміряні значення параметрів для кожного часового фрагмента будуть відрізнятися один від одного. Тому їх значення для кожного фрагмента сигналу необхідно записувати в асоціативні масиви (табл. 1), що в подальшому полегшує селекцію сигналів. Доступ до даних можна здійснювати як за номером частотного каналу (рядки таблиці), так і за параметрами сигналів (ключами), які є заголовками стовпців таблиці. Асоціативні зв'язки між даними забезпечать гнучку фільтрацію сигналів за будь-якими комбінаціями параметрів.

Таблиця 1

Структура масиву з результатами аналізу смуги частот

Номер фрагмента сигналу, j	Номер частотного каналу, i	Значення параметрів					
		f_0 , МГц	ΔF , МГц	P	T , мс	Вид модуляції, m	Параметри модуляції, R
1	1	f_{011}	ΔF_{11}	P_{11}	T_{11}	m_{11}	R_{11}
	2	f_{012}	ΔF_{12}	P_{12}	T_{12}	m_{12}	R_{12}
	...						
2	1	f_{021}	ΔF_{21}	P_{21}	T_{21}	m_{21}	R_{21}
	2	f_{022}	ΔF_{22}	P_{22}	T_{22}	m_{22}	R_{22}

...

Через різну відстань між БПЛА та пристроєм виявлення, умови поширення й різну потужність сигналів КТРЛ рівень прийнятих сигналів може суттєво відрізнятись. Також через завмирання в каналі поширення значення потужності коливатиметься в досить широких межах. Проте значення потужності прийнятого сигналу P придатне для розділення різних КТРЛ, зокрема тих, що мають решту однакових параметрів.

Для розділення сигналів КТРЛ із ППРЧ можна також використовувати вид модуляції сигналу m . Якщо для двох радіоліній він буде відрізнятись, наприклад, ЧМн та ЛЧМ, то в цьому разі доцільно однозначно розділити такі КТРЛ. У випадку однакових видів модуляції радіолінії виокремлюють за значеннями параметрів модуляції (символьна швидкість, девіації частоти), що зібрані у вектор \mathbf{R} .

Припустимо, що в кожен момент часу одна КТРЛ використовує один ЧЕ, тому сигнали кількох таких радіоліній в одній смузі частот можна розділити за фактом одночасної передачі на кількох частотах.

Схему алгоритму автоматичного виявлення та розділення сигналів із ППРЧ наведено на рис. 1.

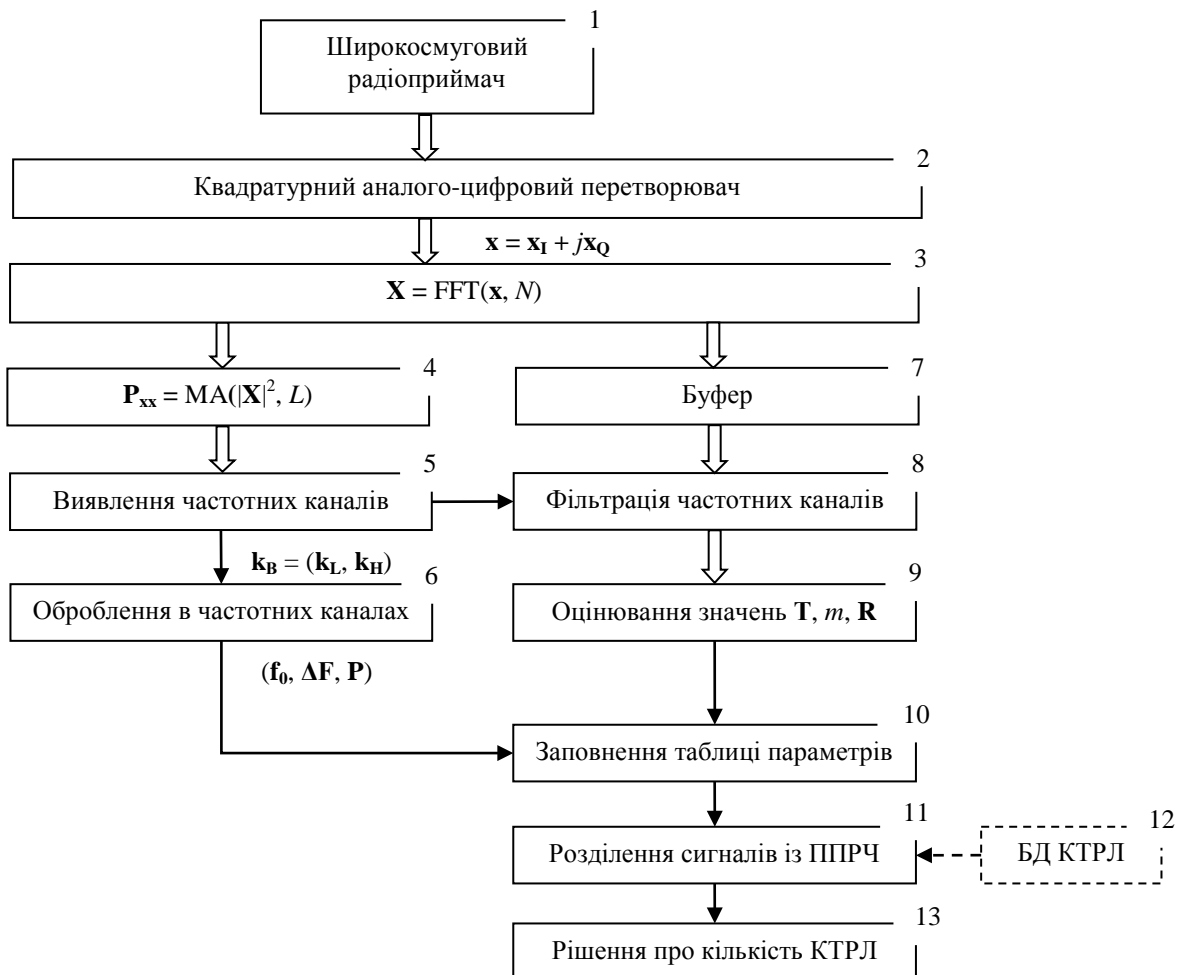


Рис. 1. Схему алгоритму автоматичного виявлення та розділення сигналів із ППРЧ

Як видно на рис. 1, із виходу широкопasmового приймача (1) сигнал надходить на квадратурний аналого-цифровий перетворювач (2). Після цього вектор комплексних відліків сигналу x довжиною N із використанням алгоритму швидкого перетворення

Фур'є (ШПФ, FFT) перетворюється у вектор комплексних відліків \mathbf{X} у частотній області (3). Значення N доцільно обирати не менше 1024, оскільки в такому разі за низьких значень ВСШ підвищується ймовірність виявлення частотних каналів і такий фрагмент сигналу матиме в часовій області достатню тривалість для оцінювання часових параметрів сигналів. Вектор \mathbf{X} зберігається в буфері (7), на його основі розраховується вектор відліків згладженої спектральної щільності потужності (СЩП) \mathbf{P}_{xx} (4) за допомогою вікна ковзного середнього (МА) довжиною L . Згладження необхідне для зменшення дисперсії (СЩП) та полегшення виявлення частотних каналів (5). Алгоритми виявлення частотних каналів описано у [20–21]. На виході блоку 5 формується вектор $\mathbf{k}_B = (\mathbf{k}_L, \mathbf{k}_H)$, кожен елемент якого є вектором-стовпцем, що містить K рядків. У першому стовпці містяться значення номерів частотного відліку, що відповідають нижній частоті виявленого каналу, а в другому – верхній частоті. У частотній області для j -го фрагмента сигналу можна оцінити такі значення його параметрів: центральну частоту i -го каналу f_0 , ширину спектра ΔF та потужність сигналу P . Після оброблення значень відліків СЩП у частотних каналах (6) формується вектор $(\mathbf{f}_0, \Delta\mathbf{F}, \mathbf{P})$, у якому кожен елемент є вектором-стовпцем із K рядками. У першому елементі містяться значення центральних частот каналів, у другому – значення ширини спектра сигналу, а в третьому – значення його потужності.

Для частоти дискретизації F_s оцінку центральної частоти сигналу можна отримати за таким виразом:

$$f_0 = (f_L + f_H)/2 = F_s (k_L + k_H)/(2N), \quad (2)$$

а оцінку ширини спектра розрахувати за такою формулою:

$$\Delta F = f_H - f_L = F_s (k_H - k_L)/N. \quad (3)$$

Значення потужності сигналу можна обчислити за таким виразом:

$$P = \frac{1}{k_H - k_L} \sum_{k=k_L}^{k_H} P_{xx}(k). \quad (4)$$

У результаті фільтрації частотних каналів (8) отримуємо K масивів комплексних відліків сигналів у часовій області. Кожен масив відповідає i -му сигналу. Фільтрація здійснюється шляхом виконання операції зворотного ШПФ над масивом комплексних відліків i -го каналу \mathbf{X}_i . Цей масив отримується шляхом обнулення частотних відліків із номерами, які менші й більші за значення меж відповідного частотного каналу:

$$\mathbf{X}_i = \begin{cases} \mathbf{X}(k) = 0, & k < k_{Li} \\ \mathbf{X}(k) = 0, & k > k_{Hi} \end{cases}. \quad (5)$$

Тоді вектор комплексних відліків i -го сигналу розраховується як

$$\mathbf{s}_i = IFFT(\mathbf{X}_i). \quad (6)$$

Такий підхід до фільтрації частотних каналів порівняно з використанням смугових цифрових фільтрів дозволяє уникнути спотворень фронтів сигналів через перехідні процеси і більш точно оцінити часові параметри сигналів. Це стає особливо актуальним для випадку, коли один ЧЕ розміщено у двох сусідніх фрагментах сигналу, які аналізуються.

Після фільтрації виявлених частотних каналів у часовій області проводиться оцінювання часових параметрів сигналу T , визначення виду модуляції m та її параметрів R (9). Тривалості ЧЕ можна визначити з використанням запропонованих у [25–26] методів. Методи оцінювання модуляційних параметрів для сигналів із ЧМн та ЛЧМ описано в [17–19].

Після отримання всіх оцінок параметрів для поточного фрагмента сигналу їх заносять у таблицю (10), і після логічного оброблення кількох фрагментів сигналу здійснюється розділення сигналів із ППРЧ (11) та формується рішення про кількість виявлених КТРЛ (13). Також для розділення сигналів може бути використана база даних (БД) зі значеннями параметрів КТРЛ відомих БпЛА (12), що дасть змогу не лише оцінити кількість радіоліній, а й встановити тип безпілота.

Для формування рішення всі етапи запропонованого на рис. 1 алгоритму повинні виконуватися в реальному масштабі часу. За частоти дискретизації F_s і довжини фрагмента сигналу N час, що відводиться для аналізу, становить N/F_s . Для обчислення ШПФ необхідно виконати $0,5N \log_2 N$ комплексних множень та $N \log_2 N$ комплексних додавань. Для реалізації усього алгоритму потрібно здійснити одне пряме ШПФ і K зворотних ШПФ. Тому складність алгоритму залежатиме від кількості сигналів, виявлених у кожному фрагменті сигнальної суміші. Для забезпечення формування рішень у реальному масштабі часу виконання окремих процесів оброблення сигналів алгоритму підлягають оптимізації щодо обчислень.

Для розділення сигналів із ППРЧ не обов'язково використовувати всі наведені в табл. 1 параметри. Якщо сигнали з високою достовірністю можна розділити з використанням кількох параметрів, які досить просто розрахувати в частотній області (ширина спектра ЧЕ та ширина смуги сигналу, потужність сигналу, крок сітки частот), то в такому разі оброблення в часовій області можна не проводити. Це дозволить спростити вимоги до обчислювальної потужності засобу радіомоніторингу.

Через вплив шуму та помилки в оцінюванні отримані результати будуть випадковими величинами із асимптотично нормальним розподілом. Тому для надійного розділення радіоліній із ППРЧ необхідне попереднє статистичне оброблення вимірних значень параметрів [21].

2. Приклади реалізації алгоритму

У ході дослідження розробленого алгоритму для формування таблиці зі значеннями оцінок параметрів сигналів було використано контейнер для даних DataFrame Multi Index пакета Pandas мови програмування Python. Ця структура забезпечує багаторівневу індексацію, гнучкий доступ до даних та широкий набір інструментів для їх оброблення й модифікації, включаючи додавання записів (стовпців) із новими ключами, утвореними в результаті оброблення наявних даних [27].

Розглянемо простий і водночас практично важливий варіант розділення КТРЛ із ППРЧ за такими параметрами: шириною спектра ЧЕ та ВСШ у частотному каналі. Ці ознаки можуть бути досить просто виділені в частотній області відповідно до виразів (3) та (4). Крім того, як ознаку можна використовувати форму спектра сигналу у виявленому частотному каналі. Варіанти розділення КТРЛ із використанням часових та модуляційних параметрів у цій роботі розглядати не будемо, оскільки їх принципова відмінність полягає лише в методах отримання значень оцінок параметрів.

Сформуємо адитивну сигнальну суміш із трьох ППРЧ сигналів та білого гаусівського шуму в смузі частот 20 МГц. Значення ВСШ для кожного сигналу становить 6 дБ. У табл. 2 наведено параметри цих сигналів. Крім розглянутих вище параметрів у таблиці також наведено: швидкість ППРЧ F_h (кількість ЧЕ, що передаються за секунду); символну швидкість B ; коефіцієнт розширення спектра SF , що використовується для сигналу з протоколом LoRa [19]; зміщення центра спектра сигналу з ППРЧ відносно центра смуги аналізу f_k . Враховуючи крок сітки частот Δf та кількість частот ППРЧ M , ширина спектра кожного сигналу становить близько 2 МГц, 6 МГц та 16 МГц відповідно.

Таблиця 2

Параметри сигналів із ППРЧ

Сигнал	Значення параметрів								
	Δf , кГц	T , мс	F_h , Гц	M	B , кБод	m	ΔF , кГц	SF	f_k , МГц
ППРЧ 1	100	13	31	20	76	ЧМН-2	160	-	0
ППРЧ 2	150	2; 3; 4; 5	40	40	80	ЧМН-2	160	-	3
ППРЧ 3	200	5; 6; 7	50	80	7,8	LoRa	500	6	-1

Накопичений спектр сигнальної суміші тривалістю 3 с та відповідну спектрограму наведено на рис. 2.

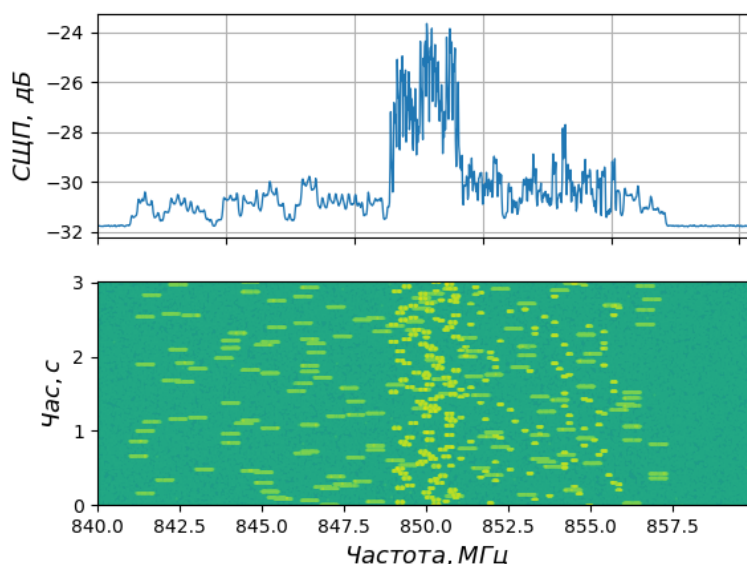


Рис. 2. Накопичений спектр та спектрограма сигнальної суміші

Аналіз сигналів здійснюється у фрагментах довжиною N відліків, часові межі яких жодним чином не пов'язані з часовими параметрами КТРЛ. Крім того, тривалість інтервалу аналізу, як правило, набагато менша за тривалість ЧЕ. Тому значення ВСШ для одного й того

самого ЧЕ в сусідніх фрагментах сигналу може суттєво відрізнятися. Це пояснюється тим, що в одному фрагменті може розміщуватися незначна частина ЧЕ, а наступний фрагмент буде повністю зайнятий сигналом. Це ж саме стосується і ширини спектра ЧЕ. Для КТРЛ із ЧМн-2 бітовий потік складається з випадкової послідовності нулів та одиниць. На деяких інтервалах аналізу можуть передаватися переважно нулі або одиниці, що призведе до заниженого значення оцінки ширини спектра ЧЕ. Те ж саме стосується і ЛЧМ сигналів. У ході аналізу лише невеликої частини ЧЕ виміряне значення ширини спектра буде набагато меншим, ніж значення девіації частоти для усього ЧЕ. Відповідно до цього виміряні значення ширини спектра ЧЕ та ВСШ будуть розсіяними відносно істинних значень параметрів.

Для розрахунку СЩП було використано періодограму Уелча з такими значеннями параметрів: довжина вікна ШПФ – 2048; кількість реалізацій ШПФ, що усереднюється, – 30; перекриття між сусідніми вікнами – 1024; тип віконної функції – Хеммінга.

На рис. 3а–в наведено діаграми розсіювання пар значень оцінок параметрів. Це зображення часто використовують для відображення значень двох змінних у наборі даних з метою виявлення залежностей між ними. Із рис. 3б та рис. 3в видно, що дані згруповані в три кластери, які відповідають кількості КТРЛ.

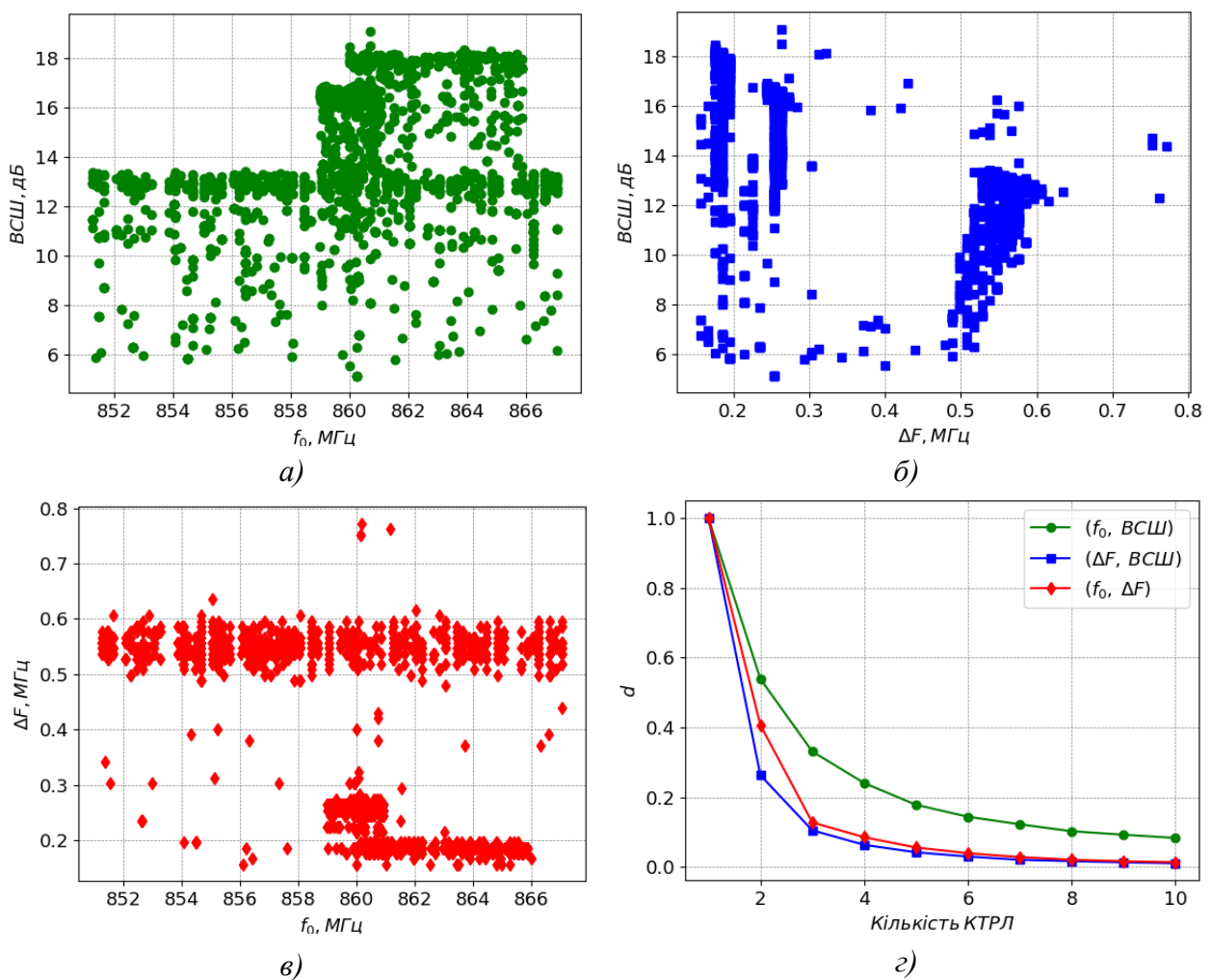


Рис. 3. Діаграми розсіювання значень виміряних параметрів: а) (f_0 , ВСШ); б) (ΔF , ВСШ); в) (f_0 , ΔF); г) залежність значення d від передбачуваної кількості КТРЛ

Для автоматичного визначення кількості КТРЛ використаємо відомі методи пошуку кластерів [28–31]. Найбільш поширеним з-поміж них є метод перегину [31], його застосування передбачає розрахунок суми квадратів відстаней між кластерами d для їх різної передбачуваної кількості. У разі збільшення кількості кластерів значення d зменшується. Істинною вважається така кількість кластерів, починаючи з якої, швидкість зменшення значення d суттєво сповільнюється.

На рис. 3г наведено залежність відстаней між кластерами d від кількості передбачуваних КТРЛ для різних пар значень параметрів. Як бачимо, для пар параметрів $(\Delta F, BCШ)$ та $(f_0, BCШ)$ суттєве сповільнення зменшення параметра d спостерігається для трьох КТРЛ. Для пари параметрів $(f_0, BCШ)$ не спостерігається чіткого переламу ходу кривої для d . Тому в цьому разі доцільно працювати з парами параметрів $(\Delta F, BCШ)$ та $(f_0, BCШ)$. Розрахунки проводилися з використанням пакета Sklearn мови програмування Python.

На рис. 4 наведено кластеризовану діаграму розсіювання для пари параметрів $(f_0, \Delta F)$. Для розбиття даних на кластери було використано модель сумішей гаусевих розподілів (Gaussian mixture model) [27]. Цей алгоритм потребує як вхідні дані лише кількість кластерів та сам масив даних. У його основі лежить імовірнісна модель. Кластеризовані дані в основному, за винятком окремих викидів, відповідають накопиченому спектру (рис. 2) та вихідним параметрам для моделювання сигнальної суміші (табл. 2). Після розбиття усіх даних на кластери, що відповідають окремим КТРЛ, із використанням розмічених точок можна оцінити значення параметрів як центри кластерів. У нашому випадку можна отримати оцінки ширини спектра ЧЕ ΔF та ширину накопиченого спектра для кожної КТРЛ.

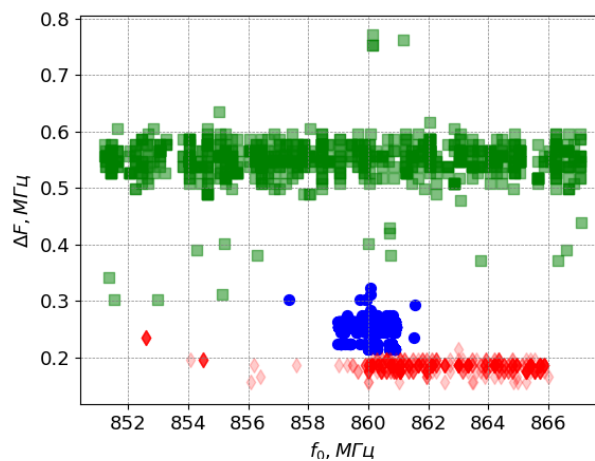


Рис. 4. Кластеризована діаграма розсіювання для пари значень $(f_0, \Delta F)$

У загальному випадку для визначення кількості КТРЛ у смузі частот аналізу доцільно обрати таку пару параметрів, для яких перегин зміни параметра d спостерігається найбільш чітко. Також для автоматичного визначення кількості КТРЛ доцільно розробити відповідний алгоритм для пошуку точки перегину залежності d .

Висновки. Наукова новизна запропонованого підходу до автоматизації процесу виявлення та розділення КТРЛ БпЛІА полягає в аналізі заданої смуги частот, оцінюванні частотних, часових та модуляційних параметрів сигналів і формуванні з отриманих оцінок

асоціативного масиву з подальшим статистичним обробленням даних та формуванням рішення щодо кількості БпЛА. Розроблений алгоритм може бути реалізований у наявних та перспективних малогабаритних засобах радіомоніторингу для автоматичного виявлення та визначення кількості БпЛА за сигналами їх КТРЛ, зокрема в умовах апіорної невизначеності щодо значень параметрів сигналів. Достовірність отриманих результатів підтверджується результатами імітаційного моделювання процесу оброблення сигналів КТРЛ БпЛА із ППРЧ та різними видами модуляції.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку полягають в оптимізації процесів оброблення сигналів щодо обчислювальної складності.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Measurement Based FHSS-type Drone Controller Detection at 2.4 GHz: An STFT Approach / V. Kaplan, I. Kahraman, A. Görçin et al. // IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC 2020-Spring). Antwerp, Belgium, 2020. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9129525>
2. Торба А. А., Торба М. О., Торба О. О. Радіочастотні комплекси виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів // Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. Вип. 4 (62). С. 21–24. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.021>
3. Нагорнюк О. А. База даних для автоматизованого розпізнавання типу безпілотного авіаційного комплексу за його радіосигналами // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2023. Вип. 25 (1). С. 39–49. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2023.25.04>
4. Horn C., Nyfeler M., Müller G., Schuepbach C. Drone Radio Signal Detection with Multi-timescale Deep Neural Networks // 4th International Conference on Advances in Signal Processing and Artificial Intelligence (ASP AI' 2022). October 19–21, 2022. Corfu, Greece. P. 140–143. <https://doi.org/10.21256/zhaw-27185>
5. Xie Y. L., Jiang P., Xiao X. Grouping Parallel Detection Method of UAV Based on Multi Features of Image Transmission Signal // Radioengineering. 2021. Vol. 30, Iss. 3. P. 556–568. <https://doi.org/10.13164/re.2021.0556>
6. Drone Detection and Classification Using Physical-Layer Protocol Statistical Fingerprint / L. Morge-Rollet, D. Le Jeune, F. Le Roy et al. // Sensors. 2022. Vol. 22. 18 p. <https://doi.org/10.3390/s22176701>
7. Nilsen M., Shetty S., Gold K., Kamhoua C. Machine Learning Empowered Radio Frequency Signal Classification for UAS Detection. STO-MP-MSG-SET-183. 16 p.
8. Nemer I. et al. RF-Based UAV Detection and Identification Using Hierarchical Learning Approach // Sensors. 2021. Vol. 21, Iss 6. 23 p. <https://doi.org/10.3390/s21061947>
9. Shorten D., Srivastava S., Murray J. Localization of Drone Controllers from RF Signals Using a Deep Learning Approach // PRAI'18. August 2018. New Jersey, USA. P. 89–97. <https://doi.org/10.1145/3243250.3243272>
10. Medaiyese O., Ezuma M., Lauf A., Guvenc I. Wavelet Transform Analytics for RF-Based UAV Detection and Identification System Using Machine Learning // Pervasive and Mobile Computing. 2022. Vol. 82. 36 p. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101569>

11. Mo Y., Huang J., Qian G. Deep Learning Approach to UAV Detection and Classification by Using Compressively Sensed RF Signal // *Sensors*. 2022. Vol. 22. 15 p. <https://doi.org/10.3390/s22083072>
12. Almasri M. Deep Learning for RF-based Drone Detection and Identification Using Welch's Method // *Proceedings of the 10th International Conference on Data Science, Technology and Applications*. 2021. P. 208–214. <https://doi.org/10.5220/0010530302080214>
13. Huynh-The T. et al. RF-UAVNet: High-Performance Convolutional Network for RF-based Drone Surveillance Systems // *IEEE Access*. 2016. Vol. 4. 13 p. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3172787>
14. Yang S. et al. RF Signal-Based UAV Detection and Mode Classification: A Joint Feature Engineering Generator and Multi-Channel Deep Neural Network Approach // *Entropy (Basel)*. 2021. Vol. 23 (12). 8 p. <https://doi.org/10.3390/e23121678>
15. Zhang Z., Ouyang W., Gao H., Jing X. Edge UAV Detection Based on Cyclic Spectral Feature: An Intelligent Scheme // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2023. 8 p. <https://doi.org/10.1155/2023/3770982>
16. Mehouchi F. B. et al. Detection of UAVs Based on Spectrum Monitoring and Deep Learning in Negative SNR Conditions // *URSI Radio Science Letters*. 2021. Vol. 3. 5 p. <https://doi.org/10.46620/21-0043>
17. Нагорнюк О. А. Метод автоматизованого визначення модуляційних параметрів короткотривалих радіосигналів з двопозиційною частотною маніпуляцією // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2023. № 93. С. 31–38. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.93.31-38>
18. Нагорнюк О. А. Методика автоматичного визначення параметрів радіосигналів із псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2020. № 80. С. 31–38. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.80.31-38>
19. Нагорнюк О. А. Метод автоматичного визначення параметрів радіосигналів сформованих за стандартом LoRa // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2024. № 95. С. 23–30. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.23-30>
20. Бугайов М. В., Закіров С. В., Клязника В. В., Гончаров Д. О. Автоматичний аналіз завантаженості радіочастотного спектра та селекція сигналів // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць*. Житомир : ЖВІ, 2023. Вип. 25 (I). С. 4–18. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2023.25.01>
21. Buhaiov M. V. Algorithm for Spectrum Sensing and Signal Selection by External Parameters // *Visnik NTUU "KPI". Ser. Radiotekh., Radioaparatorobuduv.* 2024. Iss. 95. P. 5–15. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.5-15>
22. Morehouse T., Montes C., Zhou R. Faster Region-Based CNN Spectrum Sensing and Signal Identification in Cluttered RF Environments // *Electrical Engineering and Systems Science*. 2023. 15 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.09854>
23. Li W., Wang K., You L. A Deep Convolutional Network for Multitype Signal Detection and Classification in Spectrogram // *Mathematical Problems in Engineering*. 2020. 16 p. <https://doi.org/10.1155/2020/9797302>

24. Zha X. et al. A Deep Learning Framework for Signal Detection and Modulation Classification // *Sensors*. 2019. Vol. 19. 21 p. <https://doi.org/10.3390/s19184042>
25. Buhaiov M. V. Method of Complex Envelope Processing for Signal Edges Detection // *Visnik NTUU "KPI". Ser. Radiotekh., Radioaparotobuduv.* 2023. № 92. P. 54–59. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.92.54-59>
26. Buhaiov M. V. Energy Detector of Stochastic Signals in Noise Uncertainty // *Visnik NTUU "KPI". Ser. Radiotekh., Radioaparotobuduv.* 2023. Iss. 94. P. 32–40. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.94.32-40>
27. VanderPlas J. *Python Data Science Handbook. Essential Tools for Working with Data.* O'Reilly Media, 2017. 647 p.
28. Tibshirani R., Walther G., Hastie T. Estimating the Number of Clusters in a Data Set Via the Gap Statistic // *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*. July 2001. Vol. 63, Iss. 2. P. 411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>
29. Yuan C., Yang H. Research on K-Value Selection Method of K-Means Clustering Algorithm // *Multidisciplinary Scientific Journal*. 2019. Vol. 2 (2). P. 226–235. <https://doi.org/10.3390/j2020016>
30. Cheat Sheet for Implementing 7 Methods for Selecting the Optimal Number of Clusters in Python. URL: <https://towardsdatascience.com/cheat-sheet-to-implementing-7-methods-for-selecting-optimal-number-of-clusters-in-python-898241e1d6ad/> (last accessed: 20.04.2024).
31. Determining the Number of Clusters: A Comprehensive Guide URL: <https://therised.medium.com/determining-the-number-of-clusters-a-comprehensive-guide-1a2441c5a526/> (last accessed: 20.04.2024).

Стаття надійшла до редакції 27.05.2024.

REFERENCES

1. Kaplan, B., Kahraman, I., & Görçin, A. et al. (2020). Measurement Based FHSS-type Drone Controller Detection at 2.4 GHz: An STFT Approach. In *IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC 2020-Spring)*. Antwerp, Belgium, 2020. (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9129525>
2. Torba, A. A., Torba, M. O., & Torba, O. O. (2020). Radiochastotni komplekxy vyjavlennia malorozmirnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ [Radio Frequency Complexes for Detection of Small Unmanned Aerial Vehicles]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku [Control, Navigation and Communication Systems]*, Iss. 4 (62), 21–24. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.021> [in Ukrainian].
3. Nahorniuk, O. A. (2023). Baza danykh dlia avtomatyzovanoho rozpoznavannia typu bezpilotnoho aviatsiinoho kompleksu za yoho radiosyhnalamy [Data Base of Radio Signals of Unmanned Aviation Complexes]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, Iss. 25 (I), 39–49. Zhytomyr: ZhMI. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2023.25.04> [in Ukrainian].

4. Horn, C., Nyfeler, M., Müller, G., & Schuepbach, C. (2022). Drone Radio Signal Detection with Multi-timescale Deep Neural Networks. In *4th International Conference on Advances in Signal Processing and Artificial Intelligence (ASPAI' 2022)*. October 19–21, 2022. Corfu, Greece. (pp. 140–143). <https://doi.org/10.21256/zhaw-27185>
5. Xie, Y. L., Jiang, P., Xiao, X. (2021). Grouping Parallel Detection Method of UAV Based on Multi Features of Image Transmission Signal. *Radioengineering*, Vol. 30, Iss. 3, 556–568. <https://doi.org/10.13164/re.2021.0556>
6. Morge-Rollet, L., Le Jeune, D., & Le Roy, F. et al. (2022). Drone Detection and Classification Using Physical-Layer Protocol Statistical Fingerprint. *Sensors*, Vol. 22. <https://doi.org/10.3390/s22176701>
7. Nilsen, M., Shetty, S., Gold, K., & Kamhoua, C. *Machine Learning Empowered Radio Frequency Signal Classification for UAS Detection. STO-MP-MSG-SET-183*.
8. Nemer, I. et al. (2021). RF-Based UAV Detection and Identification Using Hierarchical Learning Approach. *Sensors*, Vol. 21, Iss 6. <https://doi.org/10.3390/s21061947>
9. Shorten, D., Srivastava, S., Murray, J. Localization of Drone Controllers from RF Signals Using a Deep Learning Approach. In *PRAI'18*. August 2018. New Jersey, USA. (pp. 89–97). <https://doi.org/10.1145/3243250.3243272>
10. Medaiyese, O., Ezuma, M., Lauf, A., & Guvenc, I. (2022). Wavelet Transform Analytics for RF-Based UAV Detection and Identification System Using Machine Learning. *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 82. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101569>
11. Mo, Y., Huang, J., & Qian G. (2022). Deep Learning Approach to UAV Detection and Classification by Using Compressively Sensed RF Signal. *Sensors*, Vol. 22. <https://doi.org/10.3390/s22083072>
12. Almasri, M. (2021). Deep Learning for RF-based Drone Detection and Identification using Welch's Method. In *Proceedings of the 10th International Conference on Data Science, Technology and Applications*. (pp. 208–214). <https://doi.org/10.5220/0010530302080214>
13. Huynh-The, T. et al. (2016). RF-UAVNet: High-Performance Convolutional Network for RF-based Drone Surveillance System. *IEEE Access*, Vol. 4. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3172787>
14. Yang, S. et al. (2021). RF Signal-Based UAV Detection and Mode Classification: A Joint Feature Engineering Generator and Multi-Channel Deep Neural Network Approach. *Entropy (Basel)*, Vol. 23 (12). <https://doi.org/10.3390/e23121678>
15. Zhang, Z., Ouyang, W., Gao, H., & Jing, X. (2023). Edge UAV Detection Based on Cyclic Spectral Feature: An Intelligent Scheme. *Wireless Communications and Mobile Computing*. <https://doi.org/10.1155/2023/3770982>
16. Mehouchi, F. B. et al. (2021). Detection of UAVs Based on Spectrum Monitoring and Deep Learning in Negative SNR Conditions. *URSI Radio Science Letters*, Vol. 3. <https://doi.org/10.46620/21-0043>
17. Nahorniuk, O. A. (2023). Metod avtomatyzovanoho vyznachennia moduliatsiinykh parametriv korotkotryvalykh radiosyhnaliv z dvopozytsiinoiu chastotnoiu manipuliatsiieiu [Method of Automated Determination of Modulation Parameters of Short-Duration Radio Signals with Two-Position Frequency Manipulation]. *Visnyk NTUU "KPI". Seriya Radiotekhnika, Radioaparatabuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio*

<https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.93.31-38> [in Ukrainian].

18. Nahorniuk, O. A. (2020). Metodyka avtomatychnoho vyznachennia parametriv radiosyhnaliv iz psevdovypadkovym perestroiuivanniam robochoi chastoty [Method of Automatic Determination of Parameters of Radio Signals with Pseudo-Random Adjustment of the Operating Frequency]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio Engineering, Radio Equipment Construction]*, Iss. 80, 31–38. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.80.31-38> [in Ukrainian].

19. Nahorniuk, O. A. (2024). Metod avtomatychnoho vyznachennia parametriv radiosyhnaliv sformovanykh za standartom LoRa [Method of Automatic Determination of Parameters of Radio Signals Generated According to the LoRa Standard]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio Engineering, Radio Equipment Construction]*, Iss. 95, 23–30. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.23-30> [in Ukrainian].

20. Buhaiov, M. V., Zakirov, S. V., Kliazyuka, V. V., & Honcharov, D. O. (2023). Avtomatychnyi analiz zavantazhenosti radiochastotnoho spektra ta selektsiia syhnaliv [Automatic Spectrum Sensing AND Signal Selection]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, Iss. 25 (I), 4–18. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2023.25.01> [in Ukrainian].

21. Buhaiov, M. V. (2024). Algorithm for Spectrum Sensing and Signal Selection by External Parameters. *Visnyk NTUU "KPI". Serii Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio Engineering, Radio Equipment Construction]*, Iss. 95, 5–15. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.5-15>

22. Morehouse, T., Montes, C., & Zhou, R. (2023). Faster Region-Based CNN Spectrum Sensing and Signal Identification in Cluttered RF Environments. *Electrical Engineering and Systems Science*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.09854>

23. Li, W., Wang, K., & You, L. (2020). A Deep Convolutional Network for Multitype Signal Detection and Classification in Spectrogram. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/9797302>

24. Zha, X. et al. (2019). A Deep Learning Framework for Signal Detection and Modulation Classification. *Sensors*, Vol. 19. <https://doi.org/10.3390/s19184042>

25. Buhaiov, M. V. (2023). Method of Complex Envelope Processing for Signal Edges Detection. *Visnyk NTUU "KPI". Serii Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio Engineering, Radio Equipment Construction]*, Iss. 92, 54–59. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.92.54-59>

26. Buhaiov, M. V. (2023). Energy Detector of Stochastic Signals in Noise Uncertainty. *Visnyk NTUU "KPI". Serii Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia [Bulletin of NTUU "KPI". The series Radio Engineering, Radio Equipment Construction]*, Iss. 94, 2–40. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.94.32-40>

27. VanderPlas, J. (2017). *Python Data Science Handbook. Essential Tools for Working with Data*. O'Reilly Media.

28. Tibshirani, R., Walther, G., & Hastie, T. (2001). Estimating the Number of Clusters in a Data Set Via the Gap Statistic. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, July, Vol. 63, Iss. 2, 411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>
29. Yuan, C., & Yang, H. (2019). Research on K-Value Selection Method of K-Means Clustering Algorithm. *Multidisciplinary Scientific Journal*, Vol. 2 (2), 226–235. <https://doi.org/10.3390/j2020016>
30. *Cheat Sheet for Implementing 7 Methods for Selecting the Optimal Number of Clusters in Python*. (n.d.). [Retrieved from https://towardsdatascience.com/cheat-sheet-to-implementing-7-methods-for-selecting-optimal-number-of-clusters-in-python-898241e1d6ad/](https://towardsdatascience.com/cheat-sheet-to-implementing-7-methods-for-selecting-optimal-number-of-clusters-in-python-898241e1d6ad/)
31. *Determining the Number of Clusters: A Comprehensive Guide*. (n.d.). Retrieved from <https://therised.medium.com/determining-the-number-of-clusters-a-comprehensive-guide-1a2441c5a526/>

M. V. Buhaiov, B. V. Molodetskyi

ALGORITHM FOR AUTOMATIC DETECTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES COMMAND AND TELEMETRY RADIO LINES IN SOPHISTICATED ELECTRONIC ENVIRONMENT

Recently, the use of unmanned aerial vehicles for both reconnaissance and fire strikes has been increasing. The control of such vehicles and the transmission of telemetry information are carried out using a combined command and telemetry radio link and frequency hopping spread spectrum technology. In such conditions, the task of developing automatic algorithms for detecting and separating radio links for portable radio monitoring devices becomes especially relevant.

The aim of this work is to extend the capabilities of portable radio monitoring devices to detect unmanned aerial vehicles' radio signals in sophisticated electronic environment by automating signal processing.

Formally, the research task is to detect and separate several frequency hopping spread spectrum signals in same frequency band. To solve this task, it is first necessary to detect the frequency channels and estimate frequency and, if necessary, temporal and modulation parameters of the signals in these channels. Estimates of signal parameters values are recorded in associative arrays. The paper proposes a scheme of the algorithm for automatic detection and separation of signals with frequency hopping spread spectrum, as well as the structure of the array with the results of frequency band analysis.

In the study of developed algorithm, we considered the practically important option of separating radio links with frequency hopping spread spectrum by the spectral width of the frequency element and the value of the signal-to-noise ratio in the frequency channel, since these features can be quite easily distinguished in the frequency domain. The radio links separation was performed by cluster analysis of scatter plots of parameter pairs estimates using a Gaussian mixture model.

The developed algorithm can be implemented in existing and prospective portable radio monitoring devices to automatically detect and determine the number of unmanned aerial vehicles by their radio links signals, in particular, under conditions of a priori uncertainty about the values of signal parameters.

Keywords: *unmanned aerial vehicle; command and telemetry radio line; periodogram; frequency channel; frequency hopping spread spectrum.*

І. А. Пількевич, В. С. Савчук, М. М. Павленко, В. В. Лобода

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто процес поширення інформації серед визначеної цільової аудиторії в ході проведення психологічних операцій Командуванням Сил спеціальних операцій Збройних Сил України для підвищення ефективності використання часових ресурсів відповідних посадових осіб у разі розповсюдження матеріалів впливу. Результати проведеного аналізу наявних типів облікових записів, які досліджувалися щодо їхнього призначення та можливостей поширення відповідного контенту, свідчать про те, що вибір конкретного типу облікового запису визначає спосіб публікації та подальший порядок взаємодії з аудиторією.

Досліджено ключові аспекти ефективного поширення матеріалів у соціальних мережах, зокрема вибір методів публікації, типів облікових записів та оптимальне налаштування цього процесу. Особливу увагу зосереджено на виборі найбільш придатних груп для досягнення максимального охоплення цільової аудиторії, а також на врахуванні активності та інтересів її учасників. Встановлено, що ефективність матеріалів впливу залежить не лише від їхнього змісту, але й від правильного вибору інструментів і стратегій розповсюдження.

На основі проведеного дослідження розроблено алгоритм оптимального розповсюдження інформаційних матеріалів у соціальних мережах для досягнення найбільшого впливу на цільову аудиторію. Передбачається, що розроблення спеціального програмного забезпечення на базі запропонованого алгоритму оптимального поширення матеріалів впливу в соціальних мережах дозволить підвищити ефективність інформаційно-аналітичної діяльності в спеціальних підрозділах за рахунок: визначення переліку каналів впливу для цільової аудиторії, автоматизації процесу розповсюдження матеріалів впливу та оптимізації управління базою акаунтів у соціальних мережах одночасно.

Ключові слова: *цільова аудиторія; алгоритм розповсюдження інформації; матеріали впливу; інформаційні матеріали.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Результати моніторингу інформаційного простору свідчать про те, що соціальні мережі (СМ) є одним із ефективних засобів поширення інформаційних матеріалів (ІМ) серед визначеної цільової аудиторії (ЦА). Це пов'язано з тим, що будь-коли, фактично у форматі онлайн підрозділи, що розповсюджують ІМ, можуть взаємодіяти із ЦА в зручному форматі, а головне – у найсприятливіший час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчить сучасний стан розвитку СМ, проблема автоматизованого розповсюдження впливового контенту залишається актуальною. Так, Х. Гац [1] досліджує специфіку формування культурних трендів через © І. А. Пількевич, В. С. Савчук, М. М. Павленко, В. В. Лобода, 2024

інтернет-спільноти, наголошуючи на змінах форматів подання інформації та соціальних комунікацій, а також на їх впливі на саму людину.

Останні наукові дослідження, викладені в роботах [2, 3], зосереджені на аналізі математичних моделей, що описують процес поширення інформації та впливу в СМ, а також на математичному апараті для оцінювання рівня негативного психологічного впливу (ПсВ) в онлайн-медіа. Для цього використовуються графова структура мережі та ітеративний процес розповсюдження. Проте, незважаючи на згадані дослідження, проблема розробки конкретного алгоритму для автоматизації такого процесу залишається досі не вирішеною.

Формулювання завдання дослідження. Технології прямої агітації та пропаганди, що домінували кілька десятиліть тому, сьогодні не спрацьовують. На зміну їм прийшли маніпулятивні технології прихованого впливу, які належать до категорії «soft power». Усі вони об'єднані спільним принципом: знаючи типові патерни, стереотипи людського мислення та поведінку, можна вибудовувати комунікацію так, щоб запрограмувати потрібну реакцію об'єкта впливу: як щодо змін у світогляді, так і щодо певної поведінки. Для цього широко застосовують спеціалізоване програмне забезпечення (СПЗ), що дає змогу автоматизувати типові процеси реалізації ПсВ. Його використання дозволить більш результативно протидіяти ПсВ противника та підвищити ефективність власних ІМ. Отже, метою статті є дослідження процесу автоматизації розповсюдження ІМ, що дозволить скоротити майже вдвічі час для планування психологічних акцій (ПсАк) чи дій. Для досягнення окресленої мети необхідно виконати низку взаємопов'язаних завдань:

- розглянути питання щодо поширення ІМ впливу в СМ;
- розробити алгоритм розповсюдження ІМ у СМ;
- провести автоматизацію процесу розповсюдження ІМ у СМ;
- визначити вимоги до СПЗ;
- удосконалити спосіб визначення довіри до акаунту;
- розглянути питання щодо використання конструктора BAS для автоматизації розповсюдження ІМ впливу.

Виклад основного матеріалу. Інтернет і телебачення як джерела інформації характеризуються поєднанням візуальних й аудіальних вражень та демонстрацією різноманітних подій у динаміці, що забезпечує ефект глибокого занурення. Унаслідок цього людина може втратити здатність прогнозувати події та навіть свій майбутній стан, що лежить в основі маніпулятивних технологій психологічної війни.

Друковані видання, хоч і менш оперативні, але мають перевагу в аналітичності. Інформація, яка подається в газетах, журналах та листівках, переважно впливає на когнітивні структури тих, хто сприймає, а отже, краще запам'ятовується.

Інформаційна війна, що розгорнулася внаслідок агресії та вторгнення РФ в Україну, демонструє актуальність розуміння особливостей впливу СМ на ЦА. Сучасні фахівці з інформаційної війни можуть спілкуватися з широкими верствами населення противника миттєво і безпосередньо, а СМ значно підвищили ефективність докладених зусиль. Це робить інтернет-спільноти надзвичайно ефективним інструментом ведення інформаційної

війни. Застосування СМ для проведення психологічних операцій (ПсО) вимагає стратегічної взаємодії з онлайн-аудиторією та раціонального використання наявного часового ресурсу. Постійне збільшення кількості користувачів СМ, а також розвиток (оновлення) алгоритмів просування в них контенту призводить до збільшення витрат часового ресурсу для планування та проведення своїх ПсО чи ПсАк.

Для розповсюдження в СМ ІМ необхідно пройти реєстрацію в системі та створити особистий профіль, що надає можливість здійснювати публікацію, репост і постійно взаємодіяти з іншими учасниками інтернет-спільноти. Адміністрація СМ стежить за дотриманням певних стандартів, зокрема контролює розміщення публікацій, що містять неприйнятний контент.

Розглянемо особливості поширення матеріалів ПсВ у СМ.

1. Вживання емоційно забарвленої оцінної лексики. За допомогою цього прийому будь-яке повідомлення одразу формує ставлення, а отже, і оцінку реципієнта змісту повідомлення. Цей прийом дозволяє оминати захисні бар'єри критичного мислення і діє на рівні підсвідомості. Називаючи певний предмет, особу або групу, ми не просто вимовляємо слова, а висловлюємо ставлення до того, що називаємо, і спонукаємо до певного способу дій.

2. Гра на емоціях. Увівши об'єкт у стан емоційного збудження, легше маніпулювати його психікою та поведінкою, змусити повірити в дезінформаційне повідомлення та спонукати до його розповсюдження, змінити переконання тощо [4].

3. Тролінг (англ. trolling) – розміщення провокаційних повідомлень, щоб спричинити конфлікти між учасниками, образи, протистояння, марнослів'я тощо.

4. Контент соціальних медіа: менше тексту, більше зображень. Наочність (фотографії, рисунки, меми, графіки, короткі відеоролики, піктограми тощо) усе більше стає формою як міжособистісних, так і корпоративних комунікацій. Так, згідно з дослідженнями [5] у Facebook найпривабливішими повідомленнями є фотографії (93%).

5. СМ як джерело інформації, оскільки вони все більше стають платформою для пошуку місцевих, регіональних та міжнародних новин. Згідно зі звітом Global Web Index щодо причин використання соціальних медіа, люди переважно розглядають мережі як джерело контенту, а не як платформи, що потребують активного внеску. Переважно вони використовують СМ для спілкування, отримання новин та інформації щодо останніх подій (41%), для проведення вільного часу (41%). Лише 27% відвідувачів діляться в СМ інформацією про своє повсякденне життя [6].

6. Інформаційне повідомлення має бути лаконічним та наочним.

7. Використання мобільного формату повідомлення.

Досягнення бажаного психологічного ефекту від впливу передбачає вивчення потенційної ЦА, розроблення ІМ впливу у вигляді спеціального контенту, відбір каналів розповсюдження та безпосереднє поширення ІМ. Якість цього процесу визначається ступенем охоплення ЦА, що залежить від:

кількості СМ, обраних для розповсюдження ІМ [7];

кількості груп у цих СМ;

інтенсивності розповсюдження ІМ у відповідних групах СМ.

Розповсюдження ІМ має відбуватися за певним розкладом. Відповідно до нього встановлюється час, коли ЦА використовує СМ як джерело для отримання інформації. Такий підхід дозволяє підвищити ступінь охоплення ЦА та заощадити програмні ресурси. Після розповсюдження ІМ необхідно оцінити ці показники.

Розрахунок ступеня охоплення ЦА матеріалами впливу в СМ можна здійснити за таким виразом:

$$V = \frac{C}{m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де C – кількість переглядів ІМ впливу ЦА в СМ;

m – кількість осіб з-поміж ЦА (користувачів СМ), які можуть отримати ІМ впливу.

Якщо матеріал впливу набув поширення за рахунок репостів, то значення m становить сумарну кількість підписників у групах, у яких опубліковано допис, або друзів, якщо допис розміщений на сторінці користувача СМ.

$$m = \sum_{g=1}^G p_g, \quad (2)$$

де g – назва групи або сторінки СМ, де опубліковано ІМ впливу;

p – кількість підписників на групу (сторінку користувача) СМ;

G – кількість груп СМ, у яких опубліковано ІМ впливу.

Розповсюдження ІМ у СМ може здійснювати лише користувач, який має чинний акаунт (особистий профіль). Загалом функціонал особистого профілю дозволяє публікувати ІМ (пости), репости публікацій інших користувачів, спілкуватися з іншими учасниками СМ, писати коментарі, підписуватися на спільноти (групи, сторінки). Важливо зазначити, що розробка та використання алгоритмів для автоматизованого розповсюдження матеріалів впливу може порушувати правила СМ і призводити до негативних наслідків, включаючи блокування акаунтів та скарги на спам. Отже, враховуючи особливості роботи в СМ, пропонуємо такий алгоритм розповсюдження ІМ у них (рис. 1).

В умовах обмеженого людського ресурсу досягти бажаного ступеня охоплення ЦА ІМ можливо завдяки автоматизації процесу їх розповсюдження, яка дозволяє перенести рутинні завдання щодо публікацій та їх облік у сервіси або програмні додатки. Інструментами автоматизації можуть бути сучасні мови програмування, популярні бібліотеки (фреймворки), програмне забезпечення (конструктори) зі створення послідовності дій користувача (скрипту) в популярних веббраузерах, таких як Google Chrome або Mozilla Firefox.

Автоматизація дій у СМ передбачає виконання СПЗ заздалегідь запрограмованих дій щодо парсингу інформаційних каналів із використанням завчасно створеного профілю «віртуального користувача» [8].

Для розповсюдження ІМ у СМ СПЗ необхідно виконати таку послідовність дій: завантажити розроблений матеріал (текстовий, графічний, відео); обрати цільову

аудиторію (окремі користувачі або групи користувачів); опублікувати матеріали або виконати репост раніше опублікованих дописів. Під час парсингу «віртуальний користувач» має постійно відслідковувати появу нової інформації на сторінках груп, на які він підписаний.

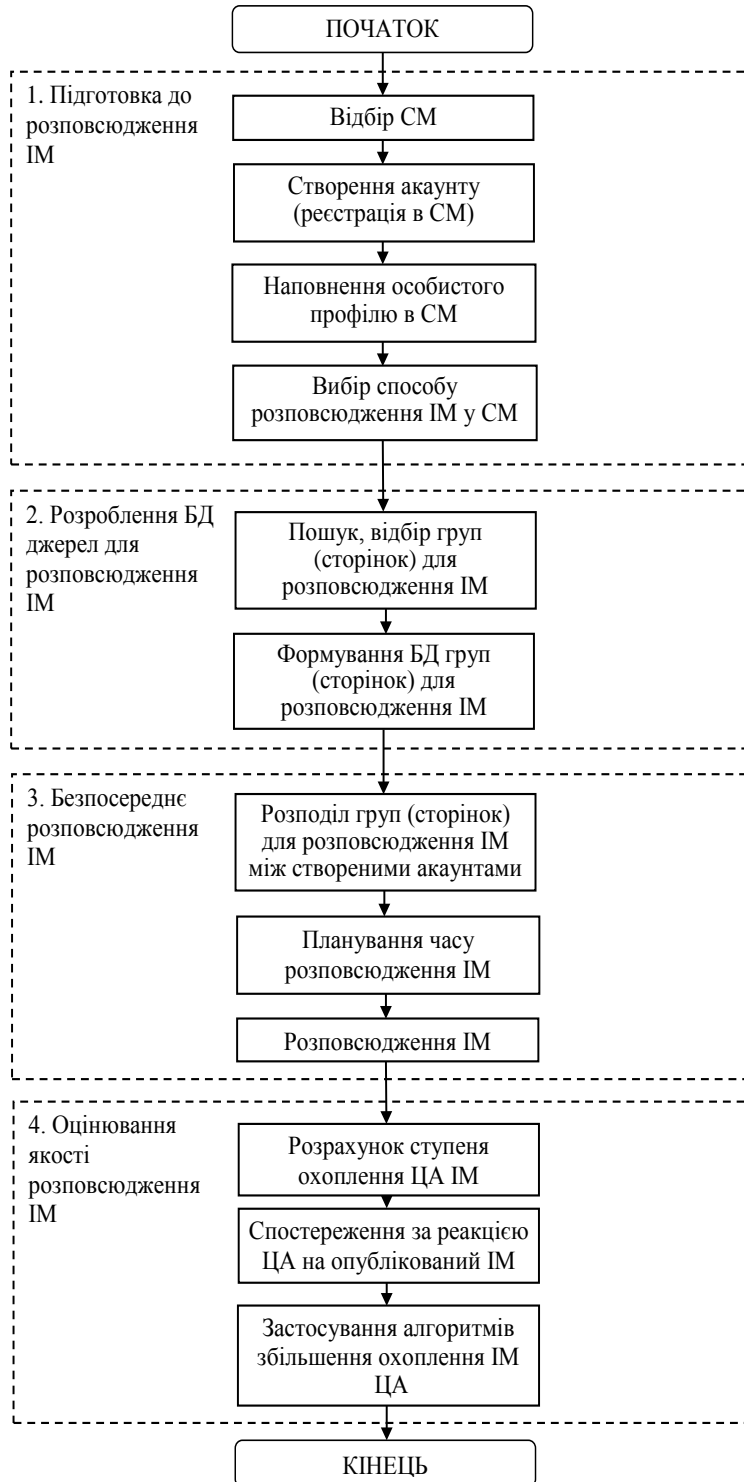


Рис. 1. Алгоритм розповсюдження ІМ впливу в СМ

Загальна схема роботи СПЗ має вигляд, наведений на рис. 2.

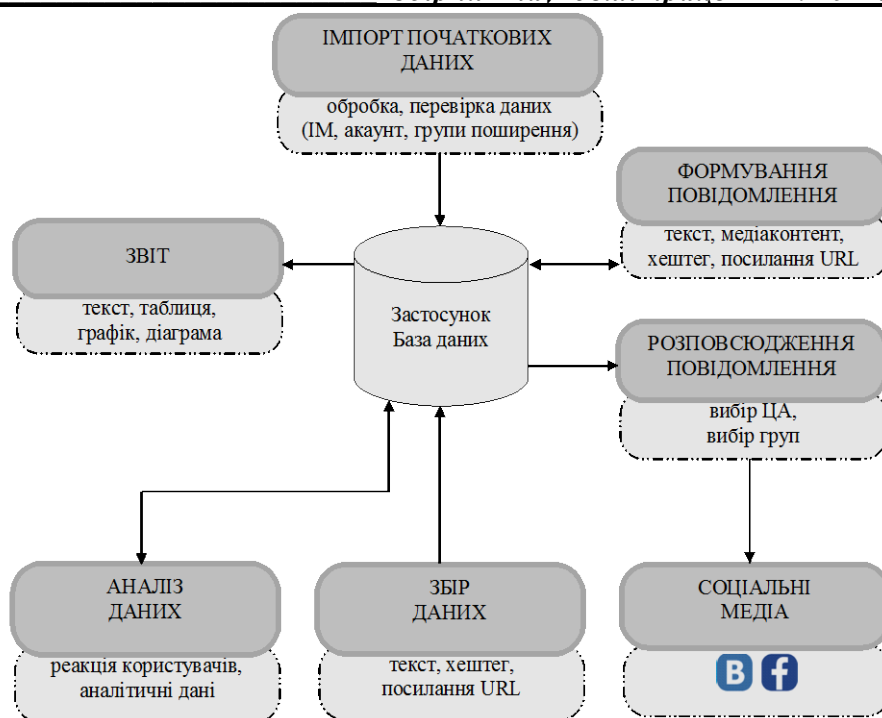


Рис. 2. Схема роботи СПЗ

СПЗ має забезпечувати комплекс функцій, спрямованих на ефективне розповсюдження МВ серед визначеної ЦА. Однією з найвагоміших вимог до нього є безкоштовний доступ до усіх функцій та можливостей системи. Проведений аналіз відомих сервісів, що використовуються для автоматизованого розповсюдження ІМ впливу у СМ, дозволяє визначити необхідний перелік вимог до СПЗ взаємодії із СМ [9]:

- забезпечення захисту конфіденційності користувачів;

- можливість точного аналізу ЦА, СПЗ має надавати можливість деталізованої сегментації аудиторії за необхідними критеріями для виконання поставленого завдання, такими як: вік, стать, інтереси, географічне положення;

- ефективна взаємодія з наявними функціями СМ;

- забезпечення можливостей планування публікацій в оптимальний час для максимального охоплення визначеної ЦА;

- робота з різними профілями користувачів власними або вбудованими засобами веббраузерів із розподілом функцій між користувачами;

- підтримка мультимедійного контенту;

- реалізація функцій імпорту та експорту інформації з різних типів джерел даних, наприклад: JavaScript Object Notation (JSON), Comma Separated Values (CSV), Excel (XLS), Portable Network Graphics (PNG), EXtensible Markup Language (XML);

- підтримка сучасних інтерфейсів взаємодії, зокрема Representational State Transfer (REST) та інтерфейсу прикладного програмування (API);

- можливість обробки таких елементів, як текст повідомлення, URL-адреса, хештеги, зображення, файли даних;

- кросплатформеність (можливість використання на різних пристроях);

- наявність технічної підтримки для вирішення можливих проблем та забезпечення безперебійної роботи системи.

Адміністрація СМ постійно стежить за дотриманням користувачами стандартів спільноти, які стосуються публікацій забороненого контенту. Політика інтернет-спільнот спрямована на те, щоб зміст повідомлень, які публікують користувачі, не мав ознаки дезінформації, насильства, обману та шахрайства, ненормативної лексики, шпигунських та шкідливих програм, провокацій тощо. За невиконання встановлених правил акаунт користувача може бути заблокований. Іншою причиною блокування може бути визначення дій користувача, що кваліфікуються як дії бота.

Використання СПЗ із розповсюдження ІМ зазвичай відбувається за одним і тим самим сценарієм. Вбудовані алгоритми захисту СМ досить швидко визначають такого користувача як бота. У подальшому до акаунту «віртуального користувача» застосовуються штрафні санкції та з часом його блокують.

Підвищення довіри до акаунту «віртуального користувача» СМ, що використовується в інтересах моніторингу інформаційного простору, пропонується здійснити шляхом використання спеціальних скриптів або програмних модулів. Такі скрипти окрім функціональних дій повинні імітувати звичайне поведіння «віртуального користувача» у СМ. Для цього його діяльність можна задати у вигляді таких шаблонів поведінки: перегляд інформації, відвідування сторінок знайомих, реакція у вигляді лайків / дизлайків. Зменшити ймовірність блокування акаунту «віртуального користувача» можливо за рахунок використання запропонованих шаблонів поведінки, які виконуються в довільний час, шляхом моделювання різних траєкторій переміщення курсора з використанням механізмів випадкових часових затримок під час введення та імітації дій.

Запропонований спосіб підвищення довіри до акаунту користувача може бути реалізований за допомогою написання відповідних скриптів у конструкторі або під час розробки власних програмних модулів із використанням інструментів роботи у веббраузері типу Selenium. Провідні конструктори разом із візуальним проєктуванням базового алгоритму дій користувача дозволяють використовувати можливості додавання до створеного алгоритму власних частин, написаних на мовах програмування, та реалізують розгалуження на основі вибору або результатах попередніх дій. До таких конструкторів належать програмні продукти типу Browser Automation Studio або Zenno Poster.

Для автоматизації розповсюдження матеріалів впливу пропонуємо використати конструктор Browser Automation Studio, який має широкий функціонал у базовому безкоштовному варіанті. Він дозволяє досить швидко, на відміну від розробки СПЗ, створити модуль, що буде реалізовувати базовий функціонал взаємодії користувача із СМ через веббраузер:

- завантаження початкової сторінки спільноти;
- застосування профілю користувача веббраузером;
- авторизація користувача в мережі;
- виконання дій у СМ від імені «віртуального користувача».

Пропонуємо розширити алгоритм базового функціоналу проведенням попереднього аналізу завантаженого коду сторінки СМ для визначення структурних елементів: кнопок та списків. Для аналізу елементів XML-документа використовують мову запитів XPath, за його

результатами визначають необхідні для інтерактивної взаємодії елементи. Логіка роботи реалізована за допомогою конструкцій вибору IF-ELSE, циклів FOREACH, списків і регулярних виразів для аналізу рядків, отриманих після попереднього аналізу. Для уникнення блокування введено механізм випадкових часових затримок під час введення та імітації дій користувача за рахунок використання різних траєкторій переміщення курсора.

Розроблений програмний модуль дозволяє забезпечити необхідне значення ступеня охоплення ЦА матеріалами впливу в СМ за рахунок встановлення періодичності публікації у відповідних групах та одночасного залучення максимально можливої кількості каналів розповсюдження.

Висновки. Основними результатами проведеного дослідження є скорочення часу, необхідного для планування матриці поширення впливу в ході планування ПсАк (дій), а також автоматизація процесу розповсюдження відповідних матеріалів у СМ. Інструменти СПЗ сприяють зручному визначенню каналів впливу для встановлення ЦА, автоматизації процесу розповсюдження ІМ впливу та оптимізації управління багатьма акаунтами в СМ одночасно.

Зазначено основні завдання для розповсюдження ІМ у СМ, а саме вибір способу публікації, типу облікового запису та відповідного налаштування.

З'ясовано, що ефективність матеріалів впливу визначається не лише самим змістом, але й правильним вибором інструментів та стратегій їх розповсюдження у СМ. На основі цього запропоновано алгоритм оптимального способу розповсюдження ІМ у СМ для досягнення максимального впливу на визначену ЦА, який складається з: підготовки; розроблення бази даних джерел; безпосереднього розповсюдження; оцінювання якості.

Запропоновано метод підвищення довіри до акаунту користувача, реалізований за допомогою написання скриптів у конструкторі або під час розробки власних програмних модулів із використання інструментів.

Виявлено можливості та параметри ефективності використання автоматизованих систем (онлайн-сервісів) управління інформаційними процесами в СМ для вибору того функціоналу, який має бути властивий програмному забезпеченню, що розробляється.

СПЗ дозволяє відповідно до ЦА обрати профіль користувача, що буде розповсюджувачем матеріалів, та автоматично здійснити поширення ІМ визначеними каналами з можливістю зазначення часу публікації матеріалу впливу, що, у свою чергу, дозволяє підвищити живучість використовуюваного профіля.

Перспектива подальших досліджень має бути спрямована на розширення функціоналу СПЗ із можливістю розповсюдження ІМ у ширшому спектрі СМ.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Гац Х. Формування культурних трендів через інтернет-спільноти // Медіакритика. URL: <https://www.mediakrytyka.info/ohlyady-analytyka/formuvannya-kulturnykh-trendiv-cherez-internet-spilnoty.html> (дата звернення: 22.01.2024).
2. Улічев О. С. Математична модель поширення інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі // Зб. наук. праць. Кіровоград : КНТУ, 2018. № 31 С. 165–174. <https://doi.org/10.32515/2409-9392.2018.31.165-174>

3. Methodology of Monitoring Negative Psychological Influences in Online Media / T. Vakaliuk, I. Pilkevych, D. Fedorchuk et. al. // Educational Technology Quarterly. 2022. Vol. 2. <https://doi.org/10.55056/etq.1>
4. 5 Ways Businesses Are Using Visual Storytelling on Facebook. URL: <http://www.socialmediaexaminer.com/visual-storytelling-on-facebook> (last accessed: 01.09.2023).
5. Top 10 Reasons for Using Social Media. URL: <http://www.globalwebindex.net/blog/top-10-reasons-for-using-social-media> (last accessed: 01.09.2023).
6. Найпопулярніші соціальні мережі у світі станом на січень 2022. URL: <https://marketer.ua/ua/the-most-popular-social-networks-in-the-world-as-of-january-2022> (дата звернення: 10.09.2023).
7. Міхєєв Ю. І. Автоматизація процесу відслідковування динаміки поширення деструктивного інформаційно-психологічного впливу в мережі Інтернет // Стратегічні пріоритети інформаційної безпеки держави у сфері оборони в умовах воєнного стану : зб. матеріалів II міжвідомчої наук.-практич. конф. (29.11.2022). Київ : НУОУ, 2022. С. 47–49.
8. Al-Qurishi M., Al-Rakhami M., AlRubaian M., Alamri A., & Al-Hougbany M. Online Social Network Management Systems: State of the Art // Procedia Computer Science. 2015. № 73. P. 474-481. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.032>

Стаття надійшла до редакції 10.04.2024.

REFERENCES

1. Hats, Kh. (n.d.). Formuvannia kulturnykh trendiv cherez internet-spilnoty [Formation of Cultural Trends Through Internet Communities]. *Mediakrytyka [Mediacriticism]*. Retrived from <https://www.mediakrytyka.info/ohlyady-analytyka/formuvannya-kulturnykh-trendiv-cherez-internet-spilnoty.html> [in Ukrainian].
2. Ulichev, O. S. (2018). Matematychna model poshyrennia informatsiino-psyholohichnyx vplyviv u sehmenti sotsialnoi merezhi [Mathematical Model for the Spread of Informational and Psychological Influences in a Segment of a Social Network]. *Zb. nauk. prats [Collection of scientific works]*, № 31, 165–174. Kirovohrad. <https://doi.org/10.32515/2409-9392.2018.31.165-174> [in Ukrainian].
3. Vakaliuk, T., Pilkevych, I., & Fedorchuk, D. et. al. (2022). Methodology of Monitoring Negative Psychological Influences in Online Media. *Educational Technology Quarterly*, Vol. 2. <https://doi.org/10.55056/etq.1>
4. 5 Ways Businesses Are Using Visual Story telling on Facebook. Retrived from <http://www.socialmediaexaminer.com/visual-storytelling-on-facebook>
5. Top 10 Reasons for Using Social Media. Retrived from <http://www.globalwebindex.net/blog/top-10-reasons-for-using-social-media>
6. Naipopuliarnishi sotsialni merezhi u sviti stanom na sichen 2022 [The Most Popular Social Networks in the World as of January 2022]. Retrived from <https://marketer.ua/ua/the-most-popular-social-networks-in-the-world-as-of-january-2022> [in Ukrainian].
7. Mikhieiev, Yu. I. (2022). Avtomatyzatsiia protsesu vidslidkovuvannia dynamiky poshyrennia destruktivnoho informatsiino-psykhologichnoho vplyvu v merezhi Internet [Automation of the

Process of Monitoring the Dynamics of the Spread of Destructive Informational and Psychological Influence in the Internet]. In *Stratehichni priorytety informatsiinoi bezpeky derzhavy u sferi oborony v umovakh voiennoho stanu: zb. materialiv II mizhvidomchoi nauk.-praktych. konf. [Strategic Priorities of the Information Security of the State in the Field of Defense in the Conditions of Martial Law: coll. materials of the II interdepartmental scientific-practical conference]*. Kyiv, November 29, 2022. (pp. 47–49). Kyiv: NUDU [in Ukrainian].

8. Al-Qurishi, M., Al-Rakhami, M., AlRubaiian, M., Alamri, A., & Al-Hougbany, M. (2015). Online Social Network Management Systems: State of the Art. *Procedia Computer Science*, № 73, 474–481. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.032>

I. A. Pilkevich, V. S. Savchuk, M. M. Pavlenko, V. V. Loboda

AUTOMATION OF INFORMATION MATERIALS DISTRIBUTION IN SOCIAL NETWORKS

In order consider the process of distributing information materials among a specific target audience in the course of conducting psychological operations by Joint Special Operations Command of the Armed Forces of Ukraine to increase efficiency in using time resources by relevant officials in case information materials are distributed. Results of analysis of available types or accounts, considered in view on their purpose and possibilities to distribute influence materials, show that the choice in favour of a particular type an account determines the method a publication is made and the further procedure for interacting with the audience.

This article examines the key aspects related to effective dissemination on social media, including choosing methods of publication, types of accounts, and optimal settings for the dissemination process. Particular attention is focused on finding the most suitable groups to achieve maximum coverage by the target audience, as well as on taking into account activity and interests of its members. It is established that successful dissemination the influence materials depends not only on their content, but also on the right choice of tools and strategies for dissemination.

On basis of the carried out research, an algorithm for optimal dissemination information materials in social networks has been developed to achieve greatest impact on target audience. It is assumed that development a special software based on proposed algorithm for optimal distribution of influence materials in social networks will increase efficiency of information and analytical activities in special units by: determining a list of influence channels for target audience, automating the processes of distribution an influence materials and optimizing management of the database of accounts in social networks simultaneously.

Keywords: *target audience; algorithm of information dissemination; materials of influence; information materials.*

В. М. Котенко, В. В. Дзюбенко, Ю. О. Кудряшов, О. В. Самонюк, В. Д. Прокопович

АНАЛІЗ СПЕКТРІВ БАГАТОЧАСТОТНИХ АМПЛІТУДНО-МОДУЛЬОВАНИХ РАДІОСИГНАЛІВ

У статті наведено результати моделювання спектрів багаточастотних радіосигналів, утворених шляхом фазової модуляції імпульсного амплітудно-модульованого радіосигналу високої частоти гармонічним коливанням проміжної частоти у фазовому модуляторі. На основі отриманого виразу для спектра комплексної обвідної багаточастотного амплітудно-модульованого сигналу на виході фазового модулятора проаналізовано складові його спектра залежно від параметрів модуляції. Встановлено, що амплітуду цих складових спектра та їх кількість однозначно знаходять за значеннями функції Бесселя першого роду від дійсного аргументу – індексу фазової модуляції, величина якого прямо пропорційно залежить від амплітуди гармонічного коливання проміжної частоти та крутизни фазової модуляційної характеристики. Рознесення за частотою між суміжними складовими багаточастотного спектра однозначно визначають за частотою гармонічного коливання проміжної частоти. Кожна спектральна складова є функцією виду $\text{sinc}(x)$, а ширина спектра обернено пропорційна тривалості початкового імпульсного амплітудно-модульованого радіосигналу. Початкова фаза центральної складової спектра відповідає початковій фазі імпульсного амплітудно-модульованого радіосигналу високої частоти. Початкові фази бокових складових спектра залежать від характеру зміни функції Бесселя згідно із заданим індексом фазової модуляції.

За характером зміни параметрів спектра відповідно до параметрів модуляції багаточастотний амплітудно-модульований сигнал можна віднести до сімейства шумоподібних сигналів. Формування багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів здійснюється одноканальними пристроями, а на каскади підсилення потужності не накладають жорсткі обмеження щодо лінійності. Практичне застосування досліджуваних сигналів надає можливість потенційно підвищити енергетичну та структурну прихованості систем радіозв'язку й радіолокації.

Ключові слова: амплітудна модуляція; фазова модуляція; індекс фазової модуляції; багаточастотний радіосигнал; енергетична та структурна прихованості.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Використання шумоподібних сигналів у широкосмугових системах радіозв'язку набули широкого розповсюдження. Це зумовлено їх здатністю забезпечувати високу завадозахищеність систем зв'язку, електромагнітну сумісність широкосмугових систем зв'язку з вузькосмуговими, більш ефективне використання спектра частот на обмеженій території порівняно з вузькосмуговими системами зв'язку, а також можливістю організації одночасної роботи багатьох абонентів у загальній смузі частот завдяки кодовому розподілу абонентів [1].

© В. М. Котенко, В. В. Дзюбенко, Ю. О. Кудряшов, О. В. Самонюк, В. Д. Прокопович, 2024

З огляду на це шумоподібні сигнали отримали подальше застосування для функціонування розвідзахищених радіолокаційних станцій і систем зв'язку. Крім того, вони придатні для застосування в радіолокаційних станціях близького виявлення та системах радіозв'язку. Це пов'язано з необхідністю забезпечення лінійності амплітудно-частотних характеристик трактів підсилення передавачів та приймачів для реалізації переваг їх автокореляційних функцій. При цьому коефіцієнт корисної дії лінійних ланцюгів більше 0,5 бути не може, а реально він значно менше. Останнє призводить до зменшення енергії випромінювання та дальності виявлення радіолокаційних станцій, а також дальності зв'язку [2].

До шумоподібних належать сигнали, у яких добуток ширини спектра F на тривалість T багато більше одиниці, цей добуток B називають базою сигналу:

$$B = FT. \quad (1)$$

Шумоподібні сигнали інколи називають складними, на відміну від простих із $B=1$ у них завжди $B \gg 1$. Для реальних шумоподібних сигналів, які складаються із кінцевої кількості елементів, завжди можливо чітко визначити і F , і B . У системах зв'язку з шумоподібними сигналами ширина їх спектра завжди набагато більша, ніж ширина спектра повідомлення, що передається.

Здатність системи зв'язку протистояти впливу потужних перешкод визначається її завадозахищеністю, яка включає в себе її скритність, оскільки для створення потужних завад необхідно спочатку виявити систему зв'язку і виміряти основні параметри її сигналів, а в подальшому організувати потужну заваду. Що вище скритність і завадостійкість, тим вище завадозахищеність системи зв'язку.

Скритність системи зв'язку – це здатність протидіяти виявленню і вимірюванню параметрів. Виявлення і вимірювання параметрів шумоподібних сигналів має свої особливості. Якщо відомо, що в цьому діапазоні частот може працювати система зв'язку, але параметри її не визначені, то можливо стверджувати про енергетичну скритність системи зв'язку, оскільки її можна виявити за допомогою аналізу спектра (енергетичне виявлення). Час виявлення визначається шириною спектра шумоподібного сигналу, шумовими властивостями приймача, потужністю сигналу на його вході та відношенням сигнал / перешкода на виході [1].

Для збільшення скритності необхідно мати якомога більший ансамбль використовуваних сигналів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Системи зв'язку з шумоподібними сигналами розвиваються вже тривалий час. Основу теорії систем зв'язку з шумоподібними сигналами заклали роботи В. Котельнікова [3] і К. Шеннона [4]. Питанням теорії та техніки систем зв'язку з шумоподібними сигналами присвячено багато книг, статей, оглядів. Також подібні дослідження проводилися і щодо застосування шумоподібних сигналів у радіолокації та радіонавігації [5–7].

До шумоподібних належать сигнали, що формуються шляхом додаткової модуляції радіоімпульсу з відповідним законом внутрішньоімпульсної модуляції гармонічним коливанням проміжної частоти у фазовому модуляторі.

Як такі фазові модулятори можуть застосовуватися підсилювальні, помножувальні лампи біжучої хвилі, варакторні фазообертачі прохідного й відбивального типів, твердотільні аналоги фазообертачів ламп біжучої хвилі, які складаються з варакторного фазообертача відбивального типу та транзисторного підсилювача вихідного сигналу [2, 5, 8].

Усі відомі ансамблі шумоподібних сигналів, що знайшли застосування в системах зв'язку та радіолокації, достатньо досліджені та характеризуються властивими їм позитивними характеристиками й недоліками. Разом із тим дослідженню завадозахищеності багаточастотних сигналів не приділено достатньо уваги.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є дослідити частотний спектр комплексної обвідної вихідного сигналу фазового модулятора в разі модуляції вхідного високочастотного амплітудно-модульованого радіоімпульсу гармонічним коливанням проміжної частоти, а також визначити залежність параметрів спектра від параметрів модуляції.

Виклад основного матеріалу

Спектр комплексної обвідної вихідного сигналу фазового модулятора. На вхід фазового модулятора подається амплітудно-модульований радіоімпульс надвисокої частоти одиничної амплітуди такого вигляду:

$$U_{\text{вх}}(t) = \exp j(2\pi f_0 t + \varphi_0), \quad \text{якщо } |t| \geq \tau_i;$$

$$U_{\text{вх}}(t) = 0, \quad \text{якщо } |t| < \tau_i,$$
(2)

де f_0 , φ_0 – частота і початкова фаза високочастотного амплітудно-модульованого радіоімпульсу тривалістю τ_i відповідно. А на модулюючий вхід подається гармонічний сигнал одиничної амплітуди

$$U_M(t) = U_M \sin(2\pi f_M t + \varphi_M),$$
(3)

де U_M , f_M , φ_M – амплітуда, частота, початкова фаза гармонічного сигналу відповідно.

У разі взаємодії вхідного і модулюючого коливання у фазовому модуляторі (рис. 1) на його виході сформується багаточастотний сигнал:

$$U_{\text{вих}}(t) = \exp \left\{ j(2\pi f_0 t + M_\varphi \sin(2\pi f_M t + \varphi_M) + \varphi_0) \right\}, \quad \text{якщо } |t| \leq \tau_i;$$

$$U_{\text{вих}}(t) = 0, \quad \text{якщо } |t| > \tau_i,$$
(4)

де $M_\varphi = S_\varphi U_M$ – індекс фазової модуляції;

$S_\varphi = \Delta u / \Delta \varphi$ – крутизна фазової модуляційної характеристики.

Для спрощення подальших розрахунків приймемо в (4) $\varphi_0 = \varphi_M = 0$.

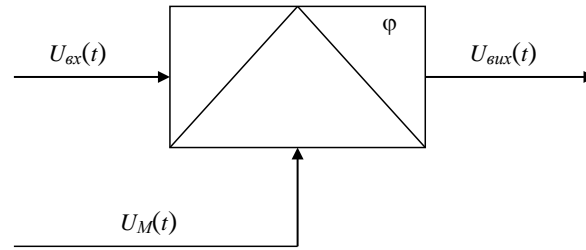


Рис. 1. Структурна схема фазового модулятора

Розклавши (4) в ряд за функціями Бесселя першого роду $I_n(M_\varphi)$ n -порядку від дійсного аргументу M_φ і врахувавши, що [5]

$$e^{\pm jz \cdot \sin t} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} I_m(z) e^{\pm jmt}, \text{ а } I_m(Z) = (-1)^m I_m(Z), \quad (5)$$

вираз (4) запишемо в такому вигляді:

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}(t) &= I_0(M_\varphi) \exp\{j2\pi f_0 t\} + \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \cdot \exp\{j(2\pi \cdot n f_M t + 2\pi \cdot f_0 t)\} + \\ &+ (-1)^n \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \cdot \exp\{-j(2\pi \cdot n f_M t + 2\pi \cdot f_0 t)\}, \quad \text{якщо } |t| \leq \tau_i; \\ U_{\text{вих}}(t) &= 0, \text{ якщо } |t| > \tau_i. \end{aligned} \quad (6)$$

Застосувавши до кожної із трьох складових перетворення Фур'є, визначимо спектр комплексної обвідної сигналу:

$$\begin{aligned} G(f) &= I_0(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j2\pi f_0 t\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j(2\pi n f_M t + 2\pi f_0 t)\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt + \\ &+ (-1)^n \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{-j(2\pi n f_M t + 2\pi f_0 t)\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt. \end{aligned} \quad (7)$$

Спектр першої складової виразу (7) знайдемо як

$$\begin{aligned} G_1(f) &= I_0(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j2\pi n f_0 t\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt = \\ &= I_0(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j2\pi n f_0 t\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt = \\ &= I_0(M_\varphi) \tau_i \sin c(\pi \tau_i (f_0 - f)). \end{aligned} \quad (8)$$

Спектр другої складової (7) визначимо в такий спосіб:

$$\begin{aligned}
 G_2(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j(2\pi n f_m t + 2\pi n f_0 t)\} \cdot \exp\{-j2\pi f t\} \cdot dt = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j(2\pi t(nf_m + f_0 - f))\} dt = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi \tau_i (nf_m + f_0 - f)).
 \end{aligned} \tag{9}$$

Спектр третьої складової (7) знайдемо як

$$\begin{aligned}
 G_3(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j(2\pi n f_m t + 2\pi n f_0 t)\} \exp\{-j2\pi f t\} dt = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n I_n(M_\varphi) \int_{-\frac{\tau_i}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} \exp\{j(2\pi t(f_0 - n f_m - f))\} dt = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n I_n(M_\varphi) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi \tau_i (f_0 - n f_m - f)).
 \end{aligned} \tag{10}$$

З урахуванням (8)–(10) комплексна обвідна багаточастотного амплітудно-модульованого сигналу матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 G_{am}(f) &= I_0(M_\varphi) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi \tau_i (f_0 - f)) + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} I_n(M_\varphi) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi \tau_i (n f_m + f_0 - f)) + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n I_n(M_\varphi) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi \tau_i (f_0 - n f_m - f)).
 \end{aligned} \tag{11}$$

Аналіз виразу (11) показує, що амплітудно-частотний спектр симетричний;

він складається з N спектральних складових, кількість яких визначається як $N = 2(M_\varphi + \sqrt{M_\varphi}) + 1$;

спектр містить $(N-1)/2$ складові, розміщені симетрично відносно центральної спектральної складової;

центральна складова спектра розташована на частоті f_0 і функцією $\operatorname{sinc}(x)$;

бокові спектральні складові розташовані на відстані від центральної на величину $N f_m$ і є функцією $\operatorname{sinc}(x)$;

амплітуда спектральних складових для фіксованих величин M_φ визначається величиною функції Бесселя;

загальна ширина спектра багаточастотного амплітудно-модульованого сигналу становить $\Delta f_c \approx N f_m$.

Аналіз спектра комплексної обвідної вихідного сигналу фазового модулятора

Розраховані за виразом (11) модулі спектрів комплексних обвідних сигналів на виході фазового модулятора наведено на рис. 2–4 для вибраного початкового значення індексу модуляції M_ϕ .

На рис. 2а, б наведено графіки розрахунків модуля спектра комплексної обвідної багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів із такими параметрами: $\tau_i = 2$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 2,0$ рад та $M_\phi = 4,0$ рад відповідно.

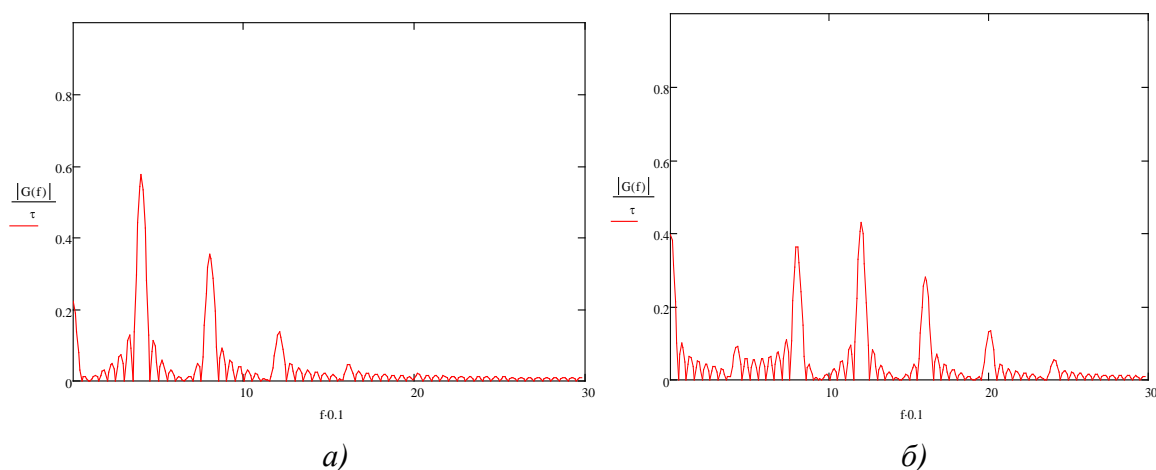


Рис. 2. Спектри комплексної обвідної багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів із такими параметрами: а) $\tau_i = 2$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 2,0$ рад;

б) $\tau_i = 2$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 4,0$ рад

На рис. 3а, б наведено графіки розрахунків модуля спектра комплексної обвідної багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів із такими параметрами: $\tau_i = 0,25$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 2,0$ рад та $M_\phi = 4,0$ рад відповідно.

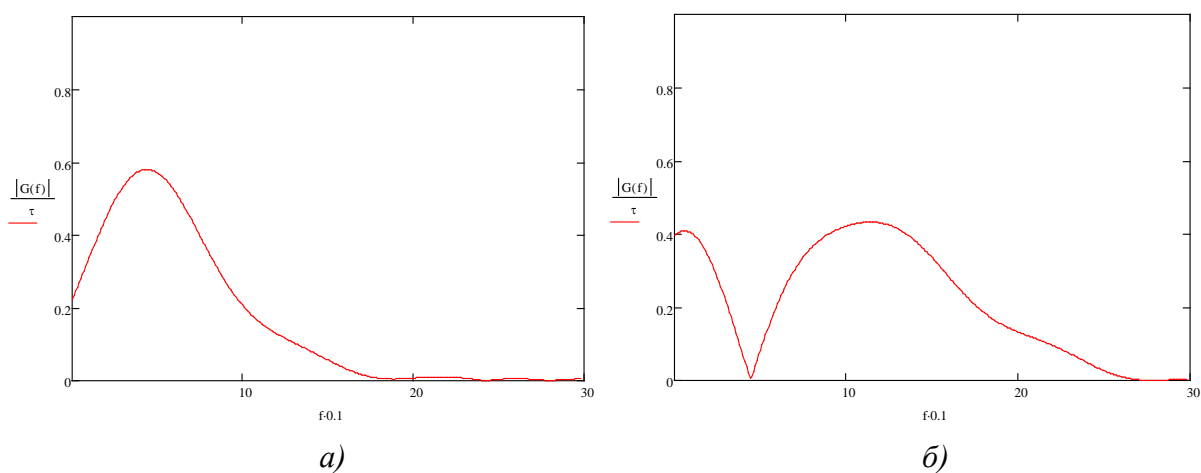


Рис. 3. Спектри комплексної обвідної багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів із такими параметрами: а) $\tau_i = 0,25$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 2,0$ рад;

б) $\tau_i = 0,25$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 4,0$ рад

На рис. 4 наведено графік розрахунку модуля спектра комплексної обвідної багаточастотного амплітудно-модульованого сигналу з такими параметрами $\tau_i = 0,1$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 4,0$ рад.

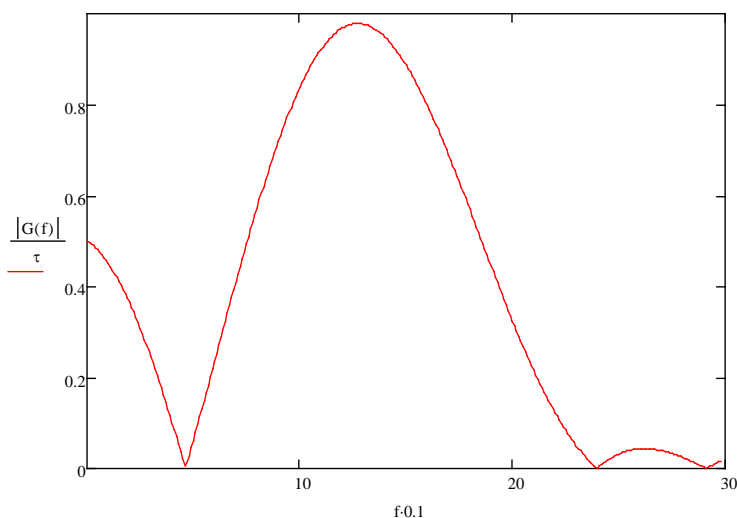


Рис. 4. Спектр комплексної обвідної багаточастотного амплітудно-модульованого сигналу з такими параметрами: $\tau_i = 0,1$ мс, $f_M = 4$ кГц, $M_\phi = 4,0$ рад

Аналіз спектрів, наведених на рис. 2, показує, що всі складові спектра є функцією виду $\sin(x)$. При цьому ширина спектра цих складових обернено-пропорційна тривалості імпульсу τ_i початкового амплітудно-модульованого сигналу.

Відстань за частотною віссю між окремими складовими спектра визначається частотою модулюючого сигналу f_M , яка становить 4 кГц, а розподіл амплітуд спектральних складових та їх кількість, як показує аналіз рис. 2а та рис. 2б, залежить від величини індексу фазової модуляції M_ϕ , а саме від амплітуди модулюючого коливання.

Аналіз спектрів, наведених на рис. 3, свідчить, що зменшення тривалості початкового радіоімпульсу до $\tau_i = 0,25$ мс призводить до розширення спектра кожної зі складових до 4 кГц. При цьому вони перекриваються, утворюючи єдиний спектр як суперпозицію спектрів окремих складових.

У разі подальшого розширення спектра кожної складової до 10 кГц за рахунок зменшення тривалості початкового радіоімпульсу до $\tau_i = 0,1$ мс спостерігається наступне перекриття спектрів окремих складових і збільшення спектральної щільності навколо максимальної складової, розташованої на частоті 12 кГц (рис. 2а, рис. 4).

Отже, змінюючи амплітуду та частоту гармонічного модулюючого сигналу, можна змінювати величину бази сигналу і здійснювати перерозподіл його енергії між спектральними складовими, що зумовлює до підвищення енергетичної та структурної прихованості.

Висновки. Багаточастотні амплітудно-модульовані сигнали можна сформувати шляхом модуляції високочастотних амплітудно-модульованих сигналів гармонічним коливанням проміжної частоти у фазових модуляторах одноканального пристрою.

На основі використання апробованого апарату математичного аналізу та теорії функцій Бесселя отримано аналітичний вираз для спектра комплексної обвідної амплітудно-модульованого сигналу на виході фазового модулятора.

За результатами проведених розрахунків побудовано графіки модуля спектрів комплексної обвідної амплітудно-модульованих сигналів для вибраних значень індексу фазової модуляції та тривалості початкового радіоімпульсу.

Отримані результати аналізу розрахованих спектрів комплексних обвідних амплітудно-модульованих сигналів на виході фазового модулятора показали, що величина індексу фазової модуляції M_ϕ визначає кількість складових у спектрі амплітудно-модульованих сигналів, а частота модулюючого гармонічного колювання f_M – відстань за частотою між окремими складовими.

Вони також свідчать про доцільність застосування багаточастотних амплітудно-модульованих сигналів у системах радіозв'язку з високим рівнем розвід захищеності та завадостійкості.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Серих С. О., Гніденко М. П., Катков Ю. І., Зінченко О. В. Спосіб зміни структури складних сигналів радіосистем блоковістю їх кодування // Наукові записи УНДІЗ. Київ, 2019. С. 85.
2. Приёмно-передающие устройства радиотехнических систем. / Н. Г. Батурич, А. Д. Введенский, В. И. Гомозов и др.; под ред. Ю. Н. Седышева. Харьков : ВИРТА ПВО, 1991. Ч. 1. 334 с.; 1992. Ч. 2. 321 с.
3. Жураковський Б. Ю., Варфоломєєва О. Г., Твердохліб М. Г. Теорія електричного зв'язку : навч. посіб. Київ, 2015. 120 с.
4. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. P. 379–423.
5. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов : учеб. для слушателей академии / Н. Г. Батурич, В. И. Гомозов, В. Ф. Екимов и др.; под ред. Ю. Н. Седышева. Харьков : ВИРТА, 1986. 650 с.
6. Гомозов В. И., Николаев А. И., Гордеенко Г. Н. Принципы формирования квазишумовых МЧ ЛЧМ сигналов с большим количеством парциальных импульсов. // Научно-технический сборник. Харьков : ВИРТА, 1978. № 4. С. 11–19.
7. Гомозов В. И., Котенко В. Н., Николаев А. И. Зависимость корреляционных свойств МЧ ЛЧМ сигналов от расстройки по частоте парциальных ЛЧМ радиоимпульсов. // Научно-технический сборник. Житомир : ЖВУРЭ, 1986. С. 75–79.
8. Веселов В. Ф., Гомозов В. И., Котенко В. Н. Экспериментальное исследование устройств формирования и обработки МЧ ЛЧМ сигналов // Научно-технический сборник. Харьков : ВИРТА, 1987. Ч. 2. С. 132–138.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2024.

1. Serykh, S. O., Hnidenko, M. P., Katkov, Yu. I., & Zinchenko, O. V. (2019). Sposib zminy struktury skladnykh syhnaliv radiosystem blokovistiu yikh koduvannia [Method of Changing the Structure of Complex Signals of Radio Systems by Blocking Their Coding]. *Naukovi zapysy UNDIZ [Scientific Collection of UNDIZ]*, 85 Kyiv [in Ukrainian].
2. Baturin, N. G., Vvedenskii, A. D., & Gomofov, V. I. et al. *Priemno-peredaiushchie ustroistva radiotekhnicheskikh sistem [Receiving and Transmitting Devices of Radio Engineering Systems]. Vol. 1–2.* Khar'kov [in Russian].
3. Zhurakovskiy, B. Yu., Varfolomeieva, O. H., Tverdokhlib, M. H. (2015). *Teoriia elektrychnoho zv'iazku : navch. posib. [Theory of Electrical Communication: academic manual].* Kyiv [in Ukrainian].
4. Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 379–423.
5. Baturin, N. G., Gomofov, V. I., & Ekimov, V. F. et al. (1986). *Teoriia i tekhnika generirovaniia, izlucheniia i priema radiolokatsionnykh signalov : ucheb. dlia slushatelei akademii [Theory and Technology of Generation, Emission and Reception of Radar Signals: textbook for students of the Academy].* Khar'kov [in Russian].
6. Gomofov, V. I., Nikolaev, A. I., & Gordeenko, G. N. (1978). Printsipy formirovaniia kvazishumovykh MCh LChM signalov s bol'shim kolichestvom partsial'nykh impul'sov [Principles of Formation of Quasi-Noise MP Chirp Signals with a Large Number of Partial Pulses]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik [Scientific and technical collection], № 4*, 11–19. Khar'kov [in Russian].
7. Gomofov, V. I., Kotenko, V. N., & Nikolaev, A. I. (1986). Zavisimost' korreliatsionnykh svoistv MCh LChM signalov ot rasstroiki po chastote partsial'nykh LChM radioimpul'sov [Dependence of Correlation Properties of MP Chirp Signals on Frequency Detuning of Partial Chirp Radio Pulses]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik [Scientific and technical collection]*, 75–79. Zhitomir [in Russian].
8. Veselov, V. F., Gomofov, V. I., & Kotenko, V. N. (1987). Eksperimental'noe issledovanie ustroistv formirovaniia i obrabotki MCh LChM signalov [Experimental Study of Devices for the Formation and Processing of LFM Signals]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik [Scientific and technical collection], Part 2*, 132–138. Khar'kov [in Russian].

V. M. Kotenko, V. V. Dzyubenko, Y. O. Kudriashov, O. V. Samoniuk, V. D. Prokopovych
ANALYSIS OF SPECTRA OF MULTI-FREQUENCY AMPLITUDE MODULATED RADIO SIGNALS

The article presents the results of modeling the spectra of multi-frequency radio signals formed by phase modulation of a high-frequency pulsed amplitude-modulated radio signal by harmonic oscillation of an intermediate frequency in a phase modulator. Based on the obtained expression for the spectrum of the complex contour of the multi-frequency amplitude-modulated signal at the output of the phase modulator, the components of its spectrum were analyzed depending on the modulation parameters. It was established that the amplitude of these

components of the spectrum and their number in the spectrum is uniquely determined by the values of the Bessel function of the first kind from the real argument - the phase modulation index. The value of the phase modulation index is directly proportional to the amplitude of the harmonic oscillation of the intermediate frequency and the steepness of the phase modulation characteristic. Frequency differences between adjacent components of the multi-frequency spectrum are uniquely determined by the frequency of the harmonic oscillation of the intermediate frequency. Each spectral component is a function of the form sinc (x), and the width of the spectrum is inversely proportional to the duration of the initial pulse amplitude-modulated radio signal. The initial phase of the central component of the spectrum corresponds to the initial phase of the high-frequency pulse amplitude-modulated radio signal. The initial phases of the side components of the spectrum depend on the nature of the change in the Bessel functions by the given phase modulation index.

According to the nature of the change of the spectrum parameters according to the modulation parameters, the multi-frequency amplitude-modulated signal can be classified as a family of noise-like signals. The formation of multi-frequency amplitude-modulated signals is carried out by single-channel devices, and no strict linearity restrictions are imposed on power amplification stages. The practical application of the studied signals provides an opportunity to potentially increase the energy and structural stealth of radio communication and radar systems.

Keywords: *amplitude modulation; phase modulation; phase modulation index; multi-frequency radio signal; energy and structural stealth.*

Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, Л. М. Марищук

ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕРМІНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ З РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

У статті обґрунтовано актуальність удосконалення термінологічної та понятійної бази для забезпечення узгодженої діяльності органів військового управління, військ (сил), наукових установ, розробників і виробників – усіх учасників процесів набуття необхідних спроможностей. За результатами аналізу нормативної бази в предметній сфері, сфері військової стандартизації, відповідних вітчизняних і закордонних публікацій країн-партнерів та членів НАТО визначено необхідність розроблення науково обґрунтованого підходу, що прогнозовано забезпечує ефективність застосування стандарту за призначенням щодо набуття необхідних спроможностей. У ході дослідження порушено актуальну проблему досягнення оптимального ступеня упорядкування діяльності в предметній сфері за рахунок застосування військового стандарту. Обґрунтовано вимогу до військового стандарту, яка визначає, що за напрямками набуття спроможностей ефективність військового стандарту повинна бути не нижче припустимої, оскільки це забезпечує виконання завдань за призначенням. Запропоновано порядок застосування принципу оцінювання досягнення потрібної ефективності військового стандарту за рахунок оцінювання елементів складних термінологічних систем за їх внеском в ефективність систем вищого порядку.

Термінологічний військовий стандарт в основній змістовній частині (терміни та визначення) розглядається як складна сукупність підсистем – термінологічних систем з елементами нижчого порядку – терміностаттями (термін з його визначенням), із використанням яких здійснюється обмін інформацією предметної сфери щодо розроблення та виробництва (закупівлі) озброєння та військової техніки, підготовки персоналу та військ (сил), створення нових (удосконалення) організаційно-штатних структур та нормативної бази набуття необхідних спроможностей. У статті у формалізованому вигляді описано порядок, який передбачає формування судження про введення певної терміносистеми до складу військового стандарту, яке досліджується на наявність необхідної та достатньої умов для виконання такої операції.

Використання наведеного підходу дозволить підвищити ефективність застосування застандартизованих термінів і визначень у діяльності з набуття необхідних спроможностей.

Ключові слова: радіоелектронна боротьба; спроможність; військовий термінологічний стандарт; термінологічна система; термінологічна стаття; ефективність.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Досвід відбиття агресії рф проти України свідчить про суттєве зростання значущості набуття потрібних спроможностей із радіоелектронної боротьби (РЕБ). Їх постійне (систематичне) підтримання та

© Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, Л. М. Марищук, 2024

нарощування потрібне для досягнення цілей збройної боротьби на тактичному, оперативному та стратегічному рівнях її ведення. Носіями спроможностей визначено органи військового управління, органи управління та військові частини (підрозділи) РЕБ, а також відповідні підрозділи військових частин видів, окремих родів військ (сил) Збройних Сил України. Відповідно до функціонального призначенням вони повинні мати спроможності як із планування та організації, так і з безпосереднього застосування засобів для виконання завдань РЕБ. Діяльність щодо розвитку спроможностей здійснюється за такими напрямками: кількісного та якісного нарощування засобів; розроблення нормативних (керівних, планувальних, організаційних) документів; підготовка персоналу тощо. Розвиток спроможностей потребує спільної діяльності з розробниками озброєння та військової техніки та виробниками засобів РЕБ, волонтерськими організаціями. Особливої важливості набуло узгодження потреб нарощування спроможностей із можливостями надання допомоги країнам-партнерів (членів НАТО) щодо їх реалізації. Усі види діяльності, що здійснюються великою кількістю виконавців, потребують єдиного розуміння цілей, змісту та складових РЕБ, а також складу сил і засобів (СЗ), форм і способів їх застосування для їх реалізації. Змістовною основою такого розуміння є застосування учасниками процесів набуття та реалізації спроможностей єдиних термінів, які використовують для планування й реалізації таких процесів, однакового сприйняття та розуміння відповідних понять.

Необхідно враховувати, що на сучасному етапі використання електромагнітного спектра в інтересах збройної боротьби в країнах НАТО розроблена доктринальна база електромагнітної боротьби, електромагнітної операції, операції в електромагнітному середовищі. Це має забезпечити несуперечливість удосконаленої термінології РЕБ чинній термінології електромагнітної боротьби, прийнятої країнами-партнерами.

На сьогодні противник також збільшує кількість та нарощує ефективність засобів протидії спроможностям, що зумовлено вдосконаленням технологій, які використовують різні активні й пасивні методи виявлення та ідентифікації джерел випромінювання, а також вогневого ураження та впливу на СЗ РЕБ. Це визначає потребу сучасної термінології щодо протидії СЗ РЕБ.

За відсутності сучасної загальноприйнятої термінології сумісна діяльність органів військового управління та військ (сил), навчальних закладів, наукових установ із розробниками озброєння та військової техніки та виробниками засобів РЕБ, представниками відповідних організацій країн-партнерів (членів НАТО), а також волонтерськими організаціями є вже типовою проблемною ситуацією, розв'язання якої потребує наявності відповідного науково-методичного апарату. Елементом такого апарату потрібно вважати певний перелік застандартизованих термінів і визначень понять, що однозначно застосовуються всіма учасниками процесу набуття спроможностей за напрямками відповідної діяльності.

Потреба осучаснення термінологічної бази галузі РЕБ може бути вирішена шляхом розроблення термінологічного військового стандарту (ВСТ). Змістове навантаження нового ВСТ «Радіоелектронна боротьба. Терміни та визначення» має забезпечувати «досягнення оптимального ступеня упорядкування» [1] діяльності за напрямками набуття спроможностей із РЕБ у сфері оборони держави за рахунок його застосування.

Водночас відсутність рекомендацій щодо формалізованого підходу (порядку) до визначення такого кількісного та якісного складу ВСТ, який забезпечуватиме досягнення оптимального ступеня упорядкування, перетворює потребу в проблему, яку необхідно вирішити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на теперішній час перелік необхідних термінів визначається військовим стандартом ВСТ 02.104.001-2006 (01) «Боротьба радіоелектронна. Терміни та визначення». Відповідно до наведених умов розвитку оперативних, бойових, спеціальних спроможностей, на сьогодні терміни та визначення понять, пов'язаних із РЕБ, подані чинними військовими стандартами в різних сферах військової діяльності [2–11], але за переліком та змістом вони не в повній мірі забезпечують підвищення її ефективності.

Аналіз керівних (нормативних) публікацій (доктрин, бойових статутів та настанов) із РЕБ показав, що нормативний документ ВСТ 02.104.001 не може вважатися таким, що в повній мірі якісно забезпечує набуття потрібних спроможностей, за певними ознаками, основними з яких слід вважати:

кількісні та якісні зміни радіоелектронних об'єктів (об'єктів радіоелектронного подавлення (РЕП) та цілей радіоелектронних перешкод (РП));

трансформація змісту теорії та практики РЕБ за її складовими та додавання компоненти «електронна підтримка радіоелектронної боротьби» до раніше визначених у цьому ВСТ «радіоелектронне подавлення» та «радіоелектронний захист»;

кардинальна зміна напрямку орієнтації сумісності термінології з колишньої «радянської» (фактично рф) на гармонізацію з термінологією, прийнятою НАТО (країнами Європейського союзу);

зростання з 2014 року, особливо від початку повномасштабної агресії (фактично війни) рф проти України, кількості суб'єктів, що діють у сфері РЕБ за різними напрямками або розпочали таку діяльність і мають різні рівні фахової підготовки в галузі, але наданий гриф обмеження доступу до інформації ВСТ не сприяє підвищенню цих рівнів.

Аналіз закордонних публікацій, пов'язаних із термінами та визначеннями понять сфери радіоелектронної (електромагнітної) боротьби [12–19], дозволив зробити висновок про можливість їх використання як джерел інформації.

За інформацією, наданою органом військової стандартизації (Управлінням стандартизації, кодифікації та каталогізації) на запит авторам, встановлено, що всі терміни, визначення та скорочення, які офіційно використовуються в НАТО, містяться в термінологічній базі даних (NATOTerm) на загальнодоступному вебсайті Офісу НАТО зі стандартизації (NSO) (<https://nso.nato.int>) у розділі TERMINOLOGY, вкладка Search for terminology – NATOTerm [33].

Аналіз джерел з організації військової стандартизації [20–22] дозволив визначити потрібні процедури для розроблення нормативного термінологічного документа.

Огляд останніх публікацій щодо суто військової термінології, наприклад [23, 24], показав наявність певних результатів досліджень за цією тематикою, але, як з'ясувалося, вони є фрагментарними, оскільки не містять цілісного підходу до вдосконалення термінології у сфері РЕБ.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розроблення підходу до вдосконалення термінології у сфері РЕБ як елемента формування науково-методичного апарату для проєктування термінологічного військового стандарту, застосування якого прогнозовано ефективно в діяльності для набуття необхідних спроможностей.

Виклад основного матеріалу. У процесі виконання за дорученнями органів військового управління оперативних завдань із розроблення проєктів вимог до виробів військового призначення (озброєння та військової техніки) встановлено потребу володіння сучасним понятійним апаратом РЕБ не лише фахівцями в цій галузі, але й кіберборотьби та кіберзахисту, радіолокації, роботизованих радіотехнічних систем тощо. Особливо це стосується безпілотних систем, зокрема безпілотних авіаційних комплексів і передусім безпілотних літальних апаратів різного призначення, серед яких актуальності набули ударні багаторазового та одноразового застосування (типу «FPV-дрон»).

Склалася ситуація, коли органи військового управління, військові частини (підрозділи), а в нашому випадку передусім РЕБ, під час бойової та повсякденної діяльності, планування виконання завдань за призначенням керуються вимогами чинних доктринальних документів, водночас військовий стандарт ВСТ 02.104.001-2006 (01) «Боротьба радіоелектронна. Терміни та визначення» суперечить їм. Це також стосується діяльності наукових установ та навчальних закладів (підрозділів).

На етапі перевірки військового стандарту ВСТ 02.104.001-2006 (01) «Боротьба радіоелектронна. Терміни та визначення» було виявлено невідповідність понятійного апарату в галузі РЕБ чинним редакціям доктринальних документів. За результатами обговорення питання щодо усунення цього недоліку встановлено, що необхідно переглянути цей ВСТ та розробити його нову редакцію, враховуючи, що:

по-перше, **перегляд** (en: revision; fr: révision) – це внесення всіх необхідних змін до змісту та оформлення нормативного документа з військової стандартизації;

по-друге, результати роботи подають через опублікування нового видання нормативного документа з військової стандартизації;

по-третє, таким новим виданням повинен бути **військовий стандарт** (en: military standard; fr: norme militaire) – стандарт, прийнятий органом військової стандартизації, що встановлює для загального й неодноразового використання правила та настанови щодо діяльності у сфері оборони і спрямований на досягнення **оптимального ступеня упорядкування** в зазначеній сфері [1];

по-четверте, військовий стандарт повинний бути розроблений як нормативний документ адміністративної сфери військової стандартизації, що забезпечить можливість використання його правил та настанов і в оперативній та технічних сферах військової стандартизації за ознакою (функціональної групи) 602 (колишні 104 та 114) – Електромагнітна та кіберборотьба [21];

по-п'яте, щодо РЕБ (на теперішній час) найбільш прийнятною формою нормативного документа з удосконалення термінології є **військовий термінологічний стандарт** (en: terminology military standard; fr: norme militaire terminologique), що стосується термінів, поряд з якими, зазвичай, наводять їхні визначення, а іноді пояснювальні примітки, ілюстрації, приклади тощо;

по-шосте, розроблення термінологічного військового стандарту повинно здійснюватися відповідно до вимог та правил, встановлених документами з військової стандартизації [1; 21; 22], але вони стосуються загальної форми та змісту нормативних документів;

по-сьоме, потребує розроблення порядок визначення раціонального складу та змістовного навантаження нового ВСТ «Радіоелектронна боротьба. Терміни та визначення», що забезпечує **«досягнення оптимального ступеня упорядкування» діяльності за напрямками набуття спроможностей із РЕБ у сфері оборони держави за рахунок його застосування** [21, 22].

Функціонування ВСТ розглядається відповідно до [1] у повному обсязі або частково в інших нормативних (керівних) документах (стандартах, настановах, військових публікаціях тощо), через які його положення можуть бути використані за призначенням безпосередньо щодо унормування діяльності та наповнення її змістовної частини з удосконалення техніки (засобів), підготовки персоналу, організації застосування СЗ РЕБ для набуття спроможностей за всіма складовими.

Для оцінювання ВСТ, що розробляється, необхідний апарат для визначення його якості як джерела інформації, вартості застосування, а також, на думку авторів, часу на отримання потрібних даних.

Під час розроблення основної частини необхідно виконати вимоги [22] до термінологічних ВСТ:

- а) розмежування складу термінів за термінологічними системами;
- б) встановлення відповідності термінологічних ВСТ складу і структурі поняттєвої системи в певній сфері військової стандартизації щодо повноти охоплення об'єктів та узгодженості їхніх зав'язків;
- в) гармонізування, за можливості, термінологічних ВСТ зі стандартами на терміни та визначення понять різних рівнів (міжнародних, регіональних, національних, військових) тієї самої предметної сфери;
- г) урахування та використання, у разі несуперечності, подібних за сферою застосування термінологічних міжнародних стандартів (словників, глосаріїв).

Для виконання викладених вимог дослідження з розроблення ВСТ, що визначається раціональною повнотою основної частини, пропонуємо такий підхід.

1. Термінологічну систему «радіоелектронна боротьба» досліджуємо як складну термінологічну надсистему (СТС), яка містить певні підсистеми – термінологічні системи, у яких реалізована вимога розмежування складу термінів за терміно статтями.

2. Термінологічні системи (підсистеми) розглядають за такими змістовними складовими РЕБ: радіоелектронне подавлення (РЕП); радіоелектронний захист (РЕЗт); електронна підтримка (ЕП) РЕБ. Крім того, оцінюють необхідність, можливість і доцільність введення додаткових термінологічних систем для повноти охоплення об'єктів та суб'єктів предметної сфери й узгодженості їхніх зав'язків.

3. Змістовне наповнення терміносистем здійснюють терміно статтями з використанням наявних у прийнятих термінологічних стандартах різних рівнів [2–11] термінів та їх визначень у сфері РЕБ.

4. Терміносистеми формують з урахуванням та використанням термінів і визначень зі сфери електромагнітної боротьби, подібної до РЕБ (містить та розширює), із застосуванням термінологічних стандартів (словників, глосаріїв) НАТО [12–19].

Ефективність СТС (РЕБ) оцінюватимемо відповідно до методики, розробленої з використанням положень [25].

Структуру та склад СТС розроблено відповідно до нормативних положень із військової стандартизації [1; 21; 22]. Структура СТС є ієрархічною (див. рис. 1), має три рівні ієрархії.

Показники ефективності СТС відповідають її загальній цільовій функції – інформаційне (термінологічне) забезпечення діяльності суб'єктів процесів набуття необхідних спроможностей. Для її реалізації СТС повинна забезпечувати виконання таких функцій: зберігання термінів і визначень, їх відображення, пошук тощо. Відповідно, можна виділити категорії цільових (технічних), ергономічних та економічних факторів, що впливають на ефективність СТС. Кожна категорія має комплексний характер та може бути формалізовано визначена комплексним показником.

Інформаційно-технічна категорія факторів охоплює такі якості, що визначаються технічною компонентою СТС, технологією зберігання й оброблення термінологічної інформації, зокрема:

обсяг інформації, що зберігається в СТС, характеризує можливості системи щодо повноти накопичених термінів і визначень, потрібних для набуття необхідних спроможностей;

точність інформації оцінює відповідність системи нормативній базі накопичених термінів і визначень, потрібних для набуття необхідних спроможностей;

достовірність оброблення інформації визначає можливості термінологічної системи щодо виконання цільових завдань із набуття спроможностей;

продуктивність СТС оцінює швидкість зчитування інформації про терміни та визначення, тривалість пошуку необхідної інформації, її оброблення і визначається можливостями й характеристиками матеріальної компоненти та способами побудови термінологічної системи;

оперативність добування потрібної інформації характеризує можливість щодо пошуку необхідних даних і залежить від їх обсягу, можливостей матеріальної та організаційної компонент СТС;

надійність зберігання інформації відображає можливості термінологічної системи щодо її збереження без руйнації (визначається як надійністю фізичних носіїв інформації, так і організаційної компоненти щодо ненавмисного руйнування даних).

До категорії *ергономічних* належать фактори, які характеризують зручність роботи користувача (оператора) із СТС і забезпечують високу (задану) ефективність виконання поставлених завдань із набуття необхідних спроможностей. Ця категорія може належати як до матеріальної, так і до організаційної компоненти СТС.

Категорія *економічних факторів*, що впливають на ефективність виконуваних СТС функцій, відображає вартість системи: розроблення компонент, витрати на підготовку персоналу до експлуатації системи, її утримання тощо.

Отже, сформовано ієрархію складових СТС (рис. 1), а також відповідно до функцій визначено категорії факторів та потрібні якості системи, які можуть бути описані функціональними частковими показниками та критеріями ефективності (табл. 1). Відповідність показників і критеріїв функціональному призначенню СТС у надсистемі, визначеної як діяльність щодо набуття необхідних спроможностей, дозволяє стверджувати про можливість їх використання для оцінювання ефективності термінологічних систем.

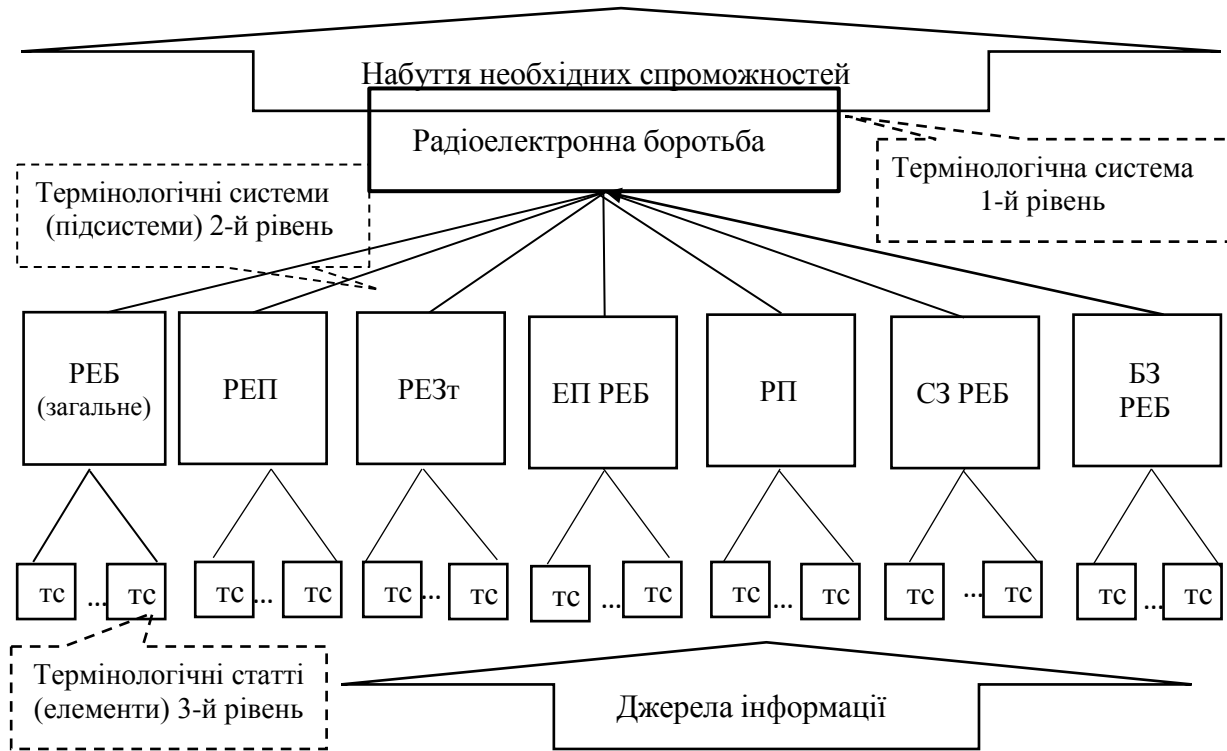


Рис. 1. Ієрархічна (трирівнева) структура СТС «Радіоелектронна боротьба»
(*тс* – термінологічні статті)

Специфіка оцінювання системи, яка в разі застосування в складі надсистеми має одночасно розглядатися як інформаційна, технічна, організаційна (організаційно-технічна), ергатична, потребує досягнення компромісу для визначення показників і критеріїв. Суть компромісу полягає в тому, що потрібно досягнути репрезентативності їх сукупності для оцінювання ефективності системи за умови [25], щоб вони матимуть певні властивості. Розроблені нами показники мають такі властивості: змістовність; відповідність призначенню системи; наочність і чітке фізичне тлумачення; стійкість; чутливість до чинників керування, що визначають їх значення; конструктивність; необхідну гнучкість та універсальність. Обрахованість та однозначність кількісного вираження потребують переходу від якісних оцінок до кількісних. Порядок оцінювання з використанням методів (експертного оцінювання, аналізу ієрархії (Сааті Т.), TOPSIS), що надають таку можливість, автори розглянули в роботах [26–28].

Проведення будь-якого дослідження передбачає визначення умов оцінювання, припущень та обмежень, що не викривляють змісту процесів застосування ВСТ для набуття спроможностей.

Узагальнені показники якості та критерії ефективності СТС

Категорія факторів, комплексний показник	Якість СТС, функціональний показник	Критерій
Інформаційно-технічна, I_T	Обсяг інформації, $F_{об}$	$N_{mc} \rightarrow opt$
	Точність, $F_{тч}$	$\sigma_{mc} \rightarrow \min$
	Достовірність, $F_{дс}$	$K_{TC} \geq K_{CC}$
	Продуктивність, $F_{пр}$	$v_{mc} \rightarrow \max$
	Оперативність, $F_{оп}$	$t_{mc} \rightarrow \min$
	Надійність, $F_{нд}$	$T_{TC} \rightarrow \max$
Ергономічна, E_p	Доступність, $E_{pд}$	$E_{pд} \rightarrow \max$
	Виведення, $E_{pв}$	$E_{pв} \rightarrow \max$
Економічна, E_K	Вартість системи, B_c	$B_{Hc} \leq B_{Cc}$
	Вартість доступу, B_o	$B_{Ho} \leq B_{Co}$

Умови оцінювання застосування визначаються можливостями суб'єктів процесу набуття спроможностей отримати інформацію, яку містить ВСТ. Пропонуємо використати положення [22]: «5.5. Не рекомендовано присвоювати ВСТ на терміни та визначення грифи обмеження доступу, незалежно від грифа документа, з якого долучаються чи в якому використовуватимуться відповідні застандартизовані терміни». У нашому випадку такий підхід враховує вимоги [29, 30].

Щодо точності $F_{тч}$, яка оцінюється мінімальною помилкою $\sigma_{mc} \rightarrow \min$ сформованої терміностагті (терміна та його визначення з необхідними примітками і прикладами), а також достовірності $F_{дс}$ як достатньої в разі наявності сформованих терміносистем у кількості, не меншій за кількість цільових завдань (напрямків) набуття спроможностей $K_{TC} \geq K_{CC}$, то вони забезпечуються якістю та кількістю термінів і визначень понять, поданих у **ВСТ, що розробляється**. Максимально використано можливості, визначені нормативним положенням [22]: «У процесі розроблення термінологічних ВСТ термінологія може долучатися з існуючих джерел або, за відсутності, розроблятися з урахуванням вимог цього ВСТ, ДСТУ 3966 та правил українського правопису». Автори вважають, що досягнення прийнятної точності та достовірності термінів і визначень понять забезпечується тим, що у ВСТ, що розробляється, джерелами термінології є: нормативно-правові (нормативні) акти [31, 32]; військові стандарти [2–11]; стандарти та керівні документи НАТО та держав – членів НАТО [12–19]. Також точність і достовірність термінів та визначень досягається за рахунок відпрацювання рекомендацій, наданих у відгуках на редакції проєкту ВСТ. Особливу цінність мали рекомендації

фахівців Управління радіоелектронної (електромагнітної) боротьби Головного управління радіоелектронної та кіберборотьби Генерального штабу Збройних Сил України, відділу військової стандартизації Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації, науково-дослідного відділу військово-термінологічної та лексикографічної діяльності лінгвістичного науково-дослідного управління науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

З урахуванням досвіду НАТО та провідних країн світу в галузі стандартизації проєкт ВСТ не має грифа обмеження доступу, оскільки визначає лише основні положення термінології в галузі РЕБ та не містить будь-яких характеристик зразків техніки та специфічних положень спеціальної тактики, планування та бойового застосування (БЗ) СЗ. Порівняно з попереднім ВСТ 02.104.001-2006 (01) новий може зберігатися в електронних та бібліографічних базах у вигляді друкованого документа. Реалізація такої можливості забезпечується підвищенням надійності F_{no} за рахунок збільшення часу зберігання термінологічної системи без її руйнації ($T_{TC} \rightarrow \max$).

Зберігання ВСТ в електронному вигляді надає можливість організації доступу визначених суб'єктів процесу набуття спроможностей до його інформації, яка зібрана в електронних базах.

Припустимо, що суб'єкти процесу набуття спроможностей мають доступ до мережі Інтернет й отримали від Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації дозвіл на вхід до бази військових стандартів.

За таких умов та припущень необхідно зауважити щодо вартості застосування такого джерела інформації, а також часу на її отримання суб'єктами набуття спроможностей, оскільки вони є мінімальними.

Порівняно з попереднім ВСТ 02.104.001-2006 (01) новий може знаходитися в базі, яка надає безпосередній доступ до його інформації всім суб'єктам процесу набуття спроможностей у режимі онлайн. Дотримання такого припущення цілком виправдане, передбачає, що СТС нового ВСТ забезпечує досягнення підвищення оперативності F_{on} за рахунок зменшення часу, потрібного для доступу до терміно статті ($t_{mc} \rightarrow \min$). Вартість нової системи B_{nc} менша за стару ($B_{nc} \leq B_{cc}$). Крім того, вартість доступу до інформації в новій системі B_{no} також менша за стару ($B_{no} \leq B_{co}$).

На думку авторів, за показниками вартість і час новий ВСТ, що розробляється, прогнозовано має бути кращим, ніж попередній.

Щодо обмежень, то на наш погляд, потребує уточнення поняття **«оптимальний ступінь»**. У сучасних умовах значних ресурсних і часових лімітів на досягнення оптимального рівня спроможностей виникає потреба ввести обмеження за часом щодо оптимальності ВСТ як джерела інформації. Через високу динаміку змін процесів РЕБ та ходу російсько-української війни в цілому можна прийняти, що ВСТ, який розробляється, забезпечує досягнення **раціонального (оптимального на певний термін) ступеня упорядкування діяльності за напрямками набуття спроможностей із РЕБ у сфері оборони держави за рахунок його застосування**. Такі обмеження цілком припустимі з урахуванням вимог щодо перевірки, внесення змін та перегляду чинних нормативних

документів, а їх актуальність (необхідність і своєчасність) визначається органами військового управління, що може здійснюватися за поданням організації, відповідальної за діяльність зі стандартизації в цій сфері. Відповідні заходи проводять на виконання Програми робіт із військової стандартизації, до якої, у разі потреби, можуть вноситися зміни встановленим [20] порядком.

Відповідно до [22] основна частина ВСТ – це сукупність термінів і визначень понять, яка відображає термінологічну систему певної предметної сфери.

Будемо вважати, що за запропонованими умовами, припущеннями та обмеженнями можна, доцільно та потрібно прийняти, що **раціональний ступінь упорядкування діяльності** визначається **раціональним складом термінологічної системи (повнотою) і змістовною якістю сукупності (точністю та достовірністю) термінів та визначень понять, поданих у ВСТ, що розробляється.**

Вербальне прийняте положення, що «раціональний ступінь упорядкування діяльності визначається раціональним складом термінологічної системи (повнотою)», потребує формалізації порядку такого визначення.

На думку авторів, основні передумови досягнення раціонального складу термінологічної системи, або повноти основної частини термінологічного ВСТ, що розробляється, можна вважати виконаними. Проте необхідно розробити науково-методичний підхід, за яким можна визначати раціональну повноту основної частини (надсистеми, термінологічної системи).

Оскільки відомі авторам джерела не містять такої інформації, то **запропоновано дослідження ефективності складної системи.**

ВСТ розглядається як продукт науково-технічної діяльності – виріб (у разі його прийняття для надання доступу споживачам – учасникам процесу набуття спроможностей), який застосовують для набуття спроможностей військ (сил) за складовими: розвиток техніки (засобів) РЕБ; удосконалення доктринальної (нормативної) бази РЕБ; підготовка персоналу та СЗ.

Застосування ВСТ – це дії, які підлягають оцінюванню щодо їх ефективності. Мірою оцінювання ефективності завжди є показник реалізації поставленої мети – досягнення **раціонального (оптимального) ступеня упорядкування діяльності за напрямками набуття спроможностей із РЕБ у сфері оборони держави.**

На етапі розроблення основної частини ВСТ (розділу 5 «Терміни та визначення понять») здійснюється формалізація та визначення в термінах складних систем: розділу – надсистеми (структури); підрозділів – терміносистем (підсистем надсистеми, структурних складових); терміностатей – структурних елементів терміносистем.

Для формування надсистеми (терміносистем) – структури розділу (підрозділу), терміностатті (терміна та відповідного визначення поняття) або прийняття рішення щодо включення їх до складу ВСТ визначається прогнозована (апріорна) ефективність – науковий прогноз очікуваних результатів, дієвість.

За ознаками, наведеними вище, ВСТ, який розробляється, як продукт (виріб) є більш придатним для застосування за його цільовим призначенням, ніж ВСТ 02.104.001-2006 (01). За умови, що за цими ознаками ефективність застосування не змінюється та не

впливає (не враховується синергетичний ефект), подальше дослідження в цьому напрямку спрямовано на досягнення раціональної повноти основної частини (раціонального складу та кількості елементів розділу 5 «Терміни та визначення понять»).

Оскільки оцінювання елементів складних систем здійснюється за їх внеском у ефективність систем вищого порядку, то пропонуємо враховувати потребу оцінювання судження X : «Необхідно ввести терміносистему до складу основної частини ВСТ (розділу 5) або терміностаттю до складу терміносистеми».

Оцінювання здійснюється за відповідністю необхідній H та достатній D умовам такого введення :

необхідна умова H : «Ефективність ВСТ W_c нижча мінімальної припустимої W_{min} щодо його застосування для набуття необхідних спроможностей»;

достатня умова D : «Введення терміносистеми (терміностатті) забезпечує ефективність W_t , достатню за внеском у W_c ».

Виконанням умов H і D підтверджується правильність судження X .

Розглянемо **приклад** формування структури основної частини оцінювання судження X : «Необхідно ввести терміносистему «Електронна підтримка радіоелектронної боротьби» до складу основної частини ВСТ (розділу 5)».

У ВСТ 02.104.001-2006 (01) відсутня терміносистема «Електронна підтримка радіоелектронної боротьби», що характеризує в певних, окреслених напрямками діяльності з набуття спроможностей, умовах ефективність «старого» ВСТ W_{cc} як нижче мінімально припустимої W_{min} для забезпечення виконання завдань:

$$W_{cc} < W_{min}.$$

Це означає, що для судження X , яке аналізується, необхідна умова P («Ефективність ВСТ нижча мінімально припустимої W_{min} ») об'єктивно виникла.

Аналіз різниці

$$W_{min} - W_{cc} = \Delta W_c$$

дозволяє:

1) правильно встановити обставини виникнення умови H («старий» ВСТ не забезпечує термінологією набуття необхідних спроможностей за складовою «Електронна підтримка радіоелектронної боротьби»);

2) сформулювати вихідні дані для аналізу умови D (у «новий» ВСТ необхідно ввести узгоджену кількість терміностатей, що сформують терміносистему «Електронна підтримка радіоелектронної боротьби», ефективність якої W_t не менше потрібної ΔW_c : $W_t \geq \Delta W_c$, – що забезпечує потрібну ефективність «нового» ВСТ $W_{cn} \geq W_{min}$).

Із використанням запропонованих підходів, які не суперечать теоретичним положенням і вимогам нормативних документів предметної сфери РЕБ та військової стандартизації, проведено вдосконалення термінології у сфері. Практичним результатом

удосконалення є розроблення ВСТ 602.001:2024(01) «Електромагнітна та кіберборотьба. Радіоелектронна боротьба. Терміни та визначення». Аналіз основної частини – терміносистеми «Радіоелектронна боротьба» (див. табл. 2) – дозволяє стверджувати про можливість його ефективного застосування суб'єктами процесу набуття необхідних спроможностей.

Таблиця 2

Кількісний та якісний розподіл терміноstateй терміносистеми «Радіоелектронна боротьба» за підрозділами розділу 5 ВСТ

Терміносистеми (підрозділи розділу 5 ВСТ)	Кількість (%) терміноstateй	Примітка
РЕБ (загальне)	16 (10%)	57 (37%) терміноstateй теоретичної спрямованості
РЕП	14 (9%)	
РЕЗт	22 (14%)	
ЕП РЕБ	5 (4%)	
СЗ РЕБ	33 (21%)	68 (43%) терміноstateй практичної спрямованості
БЗ СЗ РЕБ	35 (22%)	
РП	32 (20%)	32 (20%) терміноstateггі підтримують теоретичну та практичну складові
Терміносистема (розділ 5 ВСТ)	157 (100%)	157 терміноstateй, що містять 162 терміни (у 5 терміноstateггах по 2 терміни мають ідентичне визначення)

Висновки. Для успішного набуття необхідних спроможностей потрібно обов'язково вдосконалювати термінологію, узгоджувати та гармонізувати її з іноземними аналогами держав-партнерів. Запропоновано підхід для забезпечення такої потреби за рахунок розроблення ефективного (щодо його застосування) військового термінологічного стандарту. Рекомендований підхід уперше передбачає формування СТС. Сформовано ієрархію завдань, функцій, факторів, часткових показників та критеріїв її ефективності. Це дозволяє стверджувати, що розроблений підхід разом із нормативною базою всебічно забезпечує ефективну СТС для вдосконалення термінології в предметній сфері.

Перспективи подальших досліджень. Надалі доцільно зосередитися на математичному забезпеченні та автоматизації процесів вдосконалення термінологічної бази задля набуття необхідних спроможностей.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. ВСТ 01.001.002-2020 (03). Військова стандартизація. Терміни та визначення / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2020. 37 с.

2. ВСТ 01.114.001-2023 (01). Електромагнітна та кіберборотьба. Глосарій термінів та визначень / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2023. 63 с.
3. ВСТ 01.114.002-2023 (01). Електромагнітна та кіберборотьба. Радіоелектронна боротьба в повітряних операціях (STANAG 3873 Ed. 6 / ATP-3.6.3 Ed. A Electronic Warfare in air operation, IDT) / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2023. 66 с.
4. ВСТ 01.101.001-2020 (03). Воєнна розвідка. Терміни та визначення / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2020. 34 с.
5. ВСТ 01.101.003-2017 (02). Воєнна розвідка. Радіоелектронна розвідка. Терміни та визначення / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2017. 35 с.
6. ВСТ 01.112.006-2019 (01). Військовий зв'язок та інформаційні системи. Словник НАТО зі зв'язку. Ч. 3 (AComP-01 (Edition 3) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 704-712), MOD) / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2019. 224 с.
7. ВСТ 01.112.006-2020 (01). Військовий зв'язок та інформаційні системи. Словник НАТО зі зв'язку. Ч. 4. (AComP-01 (Edition 4) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 713-715), MOD) / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2020. 195 с.
8. ВСТ 01.112.006-2021 (01). Військовий зв'язок та інформаційні системи. Словник НАТО зі зв'язку. Ч. 6. (AComP-01 (Edition 6) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 726-790), MOD) / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2021. 203 с.
9. ВСТ 01.004.007-2017 (01). Воєнна політика, безпека та стратегічне планування. Система стратегічних комунікацій держави у воєнній сфері. Терміни та визначення / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2017. 45 с.
10. ВСТ 01.004.006-2017 (01). Воєнна політика, безпека та стратегічне планування. Стратегічне планування розвитку спроможностей Збройних Сил України. Терміни та визначення / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2017. 177 с.
11. ВСТ 01.106.005-2022 (02). Інженерне забезпечення. Глосарій термінів та визначень із знешкодження вибухонебезпечних предметів та протидії саморобним вибуховим пристроям / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2022. 132 с.
12. STANAG 6018. Ed. 4. AJP-3.6 Allied Joint Doctrine for ELECTRONIC WARFARE. Edition C. Version 1 / NATO. March, 2020. URL: https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/stanag-6018-ed-4-2020-737700_saig_nato_nato_3229457/ (last accessed: 02.02.2024).
13. AAP-06. Edition 2021. NATO Glossary of Terms and Definitions (english and french) / NATO. 2021. 298 p. URL: https://wcnjnk.wp.mil.pl/u/AAP-6_2021_ANG.pdf (last accessed: 02.02.2024).
14. AAP-39. NATO Handbook of Land Operations Terminology / NATO. December 4, 2015. 335 p.
15. AcomP-01. Ed. 3. NATO Communication Glossary / NATO. October 23, 2019. 69 p.
16. ADATP-02. NATO Information Technology Glossary / NATO. March 01, 2005. 641 p.
17. AЕСР-02/МЕСР-02. NATO Naval radio and radar radiation hazards manual / NATO. February 15, 2011. 58 p.
18. Joint Publication 3-85. Joint Electromagnetic Spectrum Operations. 2020. USA. (JP 3-85). URL: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_85.pdf (last accessed: 02.02.2024).

19. ANSI C63.14-2014. American National Standard Dictionary Of Electromagnetic Compatibility (EMC). Including Electromagnetic Environmental Effects (E3) / IEEE. 2014. Electronic ISBN: 978-0-7381-9686-2. <http://dx.doi.org/10.1109/ieeestd.2024.10550174>
20. Про питання військової стандартизації : наказ Міністерства оборони України від 24.02.2020 № 56, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 05.03.2020 за № 240/34523, № 240/34524. 89 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0240-20#Text> (дата звернення: 02.02.2024).
21. ВСТ 001.001:2023 (01). Військова стандартизація. Вимоги до побудови, викладення, оформлення, позначення та змісту військових стандартів / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2023. 87 с.
22. ВСТ 01.001.011–2020 (01). Військова стандартизація. Правила розроблення термінологічних військових стандартів / Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації. Київ, 2020. 26 с.
23. Тарасенко О. Військова термінологія як основа професійної мовної культури військовослужбовця Збройних Сил України // InterConf. 2021. № 72. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/14145> (дата звернення: 02.02.2024).
24. Струк І. В., Сітко А. В., Семигінівська Т. Г. Формування та переклад військової термінології у період активних воєнних дій на території України. <http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-26-223-4-97>
25. Методологічні основи наукових досліджень. Математичне моделювання та оптимізація складних систем і процесів : навч. посіб. / І. Г. Грабар, М. О. Гуменюк, Ю. Г. Даник та ін. Житомир : ЖВІ ДУТ, 2015. 680 с
26. Оцінка варіантів визначення організаційно-штатних структур органів (підрозділів) космічної підтримки / С. П. Лещенко, Я. М. Кожушко, Д. А. Іщенко та ін. // Системи озброєння і військова техніка. 2022. № 1 (69). С. 56–70. <https://doi.org/10.30748/sovit/2022.69.07>
27. Визначення важливості об'єктів спостереження космічними засобами в інтересах інформаційного забезпечення груп космічної підтримки / М. Ф. Пічугін, Я. М. Кожушко, Д. А. Іщенко та ін. // Системи озброєння і військової техніки. Харків : ХНУПС, 2020. Вип. 4 (64). С. 27–36. ISSN 1997-9568.
28. Ітеративний підхід до формування рішення на вдосконалення сил та засобів бойового (оперативного) забезпечення / Д. А. Іщенко, В. А. Кирилюк, Л. М. Маришук та ін. // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2021. Вип. 20. С. 42–57. <https://doi.org/10.46972 -1546.2021.20.04>
29. Порядок організації та забезпечення режиму секретності в державних органах, органах місцевого самоврядування, на підприємствах, в установах і організаціях, затвердж. постановою Кабінету Міністрів України від 18.12.2013 № 939. Київ : КМУ, 2023. Інв. № 185. 464 с.
30. Про затвердження Переліку відомостей Збройних Сил України, що становлять службову інформацію (ПСІ-2023) : наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 30.01.2023 № 12. Київ : ГШ ЗС України, 2023. 46 с.
31. Про електронні комунікації : Закон України [№ 3721-IX від 21.05.2024](#) (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text> (дата звернення: 22.05.2024).

32. ДСТУ В 8821-1:2018. Стандартизація у сфері озброєння та військової техніки. Ч. 1. Основні терміни та визначення понять / Держ. підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості». Київ, 2019. 44 с.
33. NATO Term. URL: <https://nso.nato.int> (last accessed: 22.12.2023).

Стаття надійшла до редакції 22.05.2024.

REFERENCES

1. *VST 01.001.002-2020 (03)*. Viiskova standartyzatsiia. Terminy ta vyznachennia [Military standardization. Terms and Definitions]. (2020). Kyiv [in Ukrainian].
2. *VST 01.114.001-2023 (01)*. Elektromahnitna ta kiberborotba. Hlosarii terminiv ta vyznachen [Electromagnetic and Cyber Warfare. Glossary of Terms and Definitions]. (2023). Kyiv [in Ukrainian].
3. *VST 01.114.002-2023 (01)*. Elektromahnitna ta kiberborotba. Radioelektronna borotba v povitrianykh operatsiakh [Electromagnetic and Cyber Warfare. Radio-Electronic Warfare in Air Operations]. (STANAG 3873 Ed. 6 / ATP-3.6.3 Ed. A Electronic Warfare in Air Operation, IDT). (2023). Kyiv [in Ukrainian].
4. *VST 01.101.001-2020 (03)*. Voienna rozvidka. Terminy ta vyznachennia [Military Intelligence. Terms and Definitions]. (2020). Kyiv [in Ukrainian].
5. *VST 01.101.003-2017 (02)*. Voienna rozvidka. Radioelektronna rozvidka. Terminy ta vyznachennia [Military Intelligence. Radioelectronic Intelligence. Terms and Definitions]. (2017). Kyiv [in Ukrainian].
6. *VST 01.112.006-2019 (01)*. Viiskovyi zv'iazok ta informatsiini systemy. Slovnyk NATO zi zv'iazku. Ch. 3 [Military Communication and Information Systems. NATO Communication Dictionary. Part 3]. (AComP-01 (Ed. 3) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 704-712), MOD). (2019). Kyiv [in Ukrainian].
7. *VST 01.112.006-2020 (01)*. Viiskovyi zv'iazok ta informatsiini systemy. Slovnyk NATO zi zv'iazku. Ch. 4 [Military Communication and Information Systems. NATO Communication Dictionary. Part 4]. (AComP-01 (Ed. 4) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 713-715), MOD). (2020). Kyiv [in Ukrainian].
8. *VST 01.112.006-2021 (01)*. Viiskovyi zv'iazok ta informatsiini systemy. Slovnyk NATO zi zv'iazku. Ch. 6 [Military Communication and Information Systems. NATO Communication Dictionary. Part 6]. (AComP-01 (Ed. 6) NATO COMMUNICATIONS GLOSSARY (Chapters 726-790), MOD). (2021). Kyiv [in Ukrainian].
9. *VST 01.004.007-2017 (01)*. Voienna polityka, bezpeka ta stratehichne planuvannia. Systema stratehichnykh komunikatsii derzhavy u voiennii sferi. Terminy ta vyznachennia [Military Policy, Security and Strategic Planning. The System of Strategic Communications of the State in the Military Sphere. Terms and Definitions]. (2017). Kyiv [in Ukrainian].
10. *VST 01.004.006-2017 (01)*. Voienna polityka, bezpeka ta stratehichne planuvannia. Stratehichne planuvannia rozvytku spromozhnosti Zbroinykh Syl Ukrainy. Terminy ta vyznachennia [Military Policy, Security and Strategic Planning. Strategic Planning for the Development of the Capabilities of the Armed Forces of Ukraine. Terms and Definitions].

(2017). Kyiv [in Ukrainian].

11. VST 01.106.005-2022 (02). Inzhenerne zabezpechennia. Hlosarii terminiv ta vyznachen iz zneshkodzhennia vybukhonebezpechnykh predmetiv ta protydii samorobnym vybukhovym prystroiam [Engineering Support. Glossary of Terms and Definitions for Explosive Ordnance Disposal and Countering Improvised Explosive Devices]. (2022). Kyiv [in Ukrainian].

12. STANAG 6018. Ed. 4. AJP-3.6 Allied Joint Doctrine for ELECTRONIC WARFARE. Edition C. Version 1 / NATO. March, 2020. Retrived from https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/stanag-6018-ed-4-2020-737700_saig_nato_nato_3229457/

13. AAP-06. Edition 2021. NATO Glossary of Terms and Definitions (english and french) / NATO. 2021. 298 p. Retrived from https://wcnjik.wp.mil.pl/u/AAP-6_2021_ANG.pdf

14. AAP-39. NATO Handbook of land operations terminology / NATO. December 4, 2015. 335 p.

15. AcomP-01. Ed. 3. NATO Communication Glossary / NATO. October 23, 2019. 69 p.

16. ADATP-02. NATO Information Technology Glossary / NATO. March 01, 2005. 641 p.

17. AECF-02/MECF-02. NATO Naval radio and radar radiation hazards manual / NATO. February 15, 2011. 58 p.

18. Joint Publication 3-85. Joint Electromagnetic Spectrum Operations. 2020. USA. (JP 3-85). Retrived from https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_85.pdf

19. ANSI C63.14-2014. American National Standard Dictionary Of Electromagnetic Compatibility (EMC). Including Electromagnetic Environmental Effects (E3) / IEEE. 2014. Electronic ISBN: 978-0-7381-9686-2. <http://dx.doi.org/10.1109/ieeestd.2024.10550174>

20. Pro pytannia viiskovoi standartyzatsii : nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 24.02.2020 № 56 [On the Issue of Military Standardization: order of the Ministry of Defense of Ukraine from 24.02.2020 № 56]. Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0240-20#Text> [in Ukrainian].

21. VST 001.001:2023 (01). Viiskova standartyzatsiia. Vymohy do pobudovy, vykladennia, oformlennia, poznachennia ta zmistu viiskovykh standartiv [Military Standardization. Requirements for the Construction, Presentation, Design, Designation and Content of Military Standards]. (2023). Kyiv [in Ukrainian].

22. VST 01.001.011–2020 (01). Viiskova standartyzatsiia. Pravyla rozroblennia terminolohichnykh viiskovykh standartiv [Military standarDization. Rules for the Development of Terminological Military Standards]. (2020). Kyiv [in Ukrainian].

23. Tarasenko, O. (2021). Viiskova terminolohiia yak osnova profesiinoi movnoi kultury viiskovosluzhbovtisia Zbroinykh Syl Ukrainy [Military Terminology as the Basis of the Professional Language Culture of a Serviceman of the Armed Forces of Ukraine]. In *InterConf.*, № 72. Retrived from <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/14145> [in Ukrainian].

24. Struk, I. V., Sitko, A. V., & Semyhinivska, T. H. *Formuvannia ta pereklad viiskovoi terminolohii u period aktyvnykh voienykh dii na terytorii Ukrainy [Formation and Translation of Military Terminology During the Period of Active Military Operations on the Territory of Ukraine]*. <http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-26-223-4-97> [in Ukrainian].

25. Hrabar, I. H., Humeniuk, M. O., & Danyk, Yu. H. et al. (2015). *Metodolohichni osnovy naukovykh doslidzhen. Matematyчне modeliuвання ta optymizatsiia skladnykh system*

i protsesiv : navch. posib. [Methodological Foundations of Scientific Research. Mathematical Modeling and Optimization of Complex Systems and Processes: teaching. manual]. Zhytomyr [in Ukrainian].

26. Leshchenko, S. P., Kozhushko, Ya. M., & Ishchenko, D. A. et al. (2022). Otsinka variantiv vyznachennia orhanizatsiino-shtatnykh struktur orhaniv (pidrozdiliv) kosmichnoi pidtrymky [Evaluation of Options for Determining the Organizational and Staffing Structures of Bodies (Subdivisions) of Space Support]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapon Systems and Military Equipment]*, № 1 (69), 56–70. <https://doi.org/10/30748/sovit/2022.69.07> [in Ukrainian].

27. Pichuhin, M. F., Kozhushko, Ya. M., & Ishchenko, D. A. et al. (2020). Vyznachennia vazhlyvosti ob'ektiv sposterezhennia kosmichnymy zasobamy v interesakh informatsiinoho zabezpechennia hrup kosmichnoi pidtrymky [Determining the Importance of Objects Observed by Space Means in the Interests of Information Provision of Space Support Groups]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapon Systems and Military Equipment]*, Iss. 4 (64), 27–36. Kharkiv. ISSN 1997-9568 [in Ukrainian].

28. Ishchenko, D. A., Kyrlyuk, V. A., & Maryshchuk, L. M. et al. (2021). Iteratyvnyi pidkhid do formuvannia rishennia na vdoskonalennia syl ta zasobiv boiovoho (operatyvnoho) zabezpechennia [Iterative Approach to the Formation of Solution to Improve the Forces and Means of Combat (Operational) Support]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, Iss. 20, 42–57. https://doi.org/10.46972_-1546.2021.20.04 [in Ukrainian].

29. *Poriadok orhanizatsii ta zabezpechennia rezhymu sekretnosti v derzhavnykh orhanakh, orhanakh mistsevoho samovriaduvannia, na pidpriumstvakh, v ustanovakh i orhanizatsiiaakh, zatv. postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18.12.2013 № 939 [The Order of Organization and Ensuring the Regime of Secrecy in State Bodies, Local Self-Government Bodies, Enterprises, Institutions and Organizations: resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 18.12.2013 № 939].* Kyiv [in Ukrainian].

30. *Pro zatverdzhennia Pereliku vidomostei Zbroinykh Syl Ukrainy, shcho stanovliat sluzhbovu informatsiiu (PSI-2023) : nakaz Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy vid 30.01.2023 № 12 [On the Approval of the List of Information of the Armed Forces of Ukraine Constituting Official Information (PSI-2023): order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine from 30.01.2023 № 12].* Kyiv [in Ukrainian].

31. *Pro elektronni komunikatsii : Zakon Ukrainy № 3721-IX vid 21.05.2024 [On Electronic Communications: Law of Ukraine № 3721-IX from 21.05.2024].* Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text> [in Ukrainian].

32. *DSTU V 8821-1:2018. Standartyzatsiia u sferi ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Ch. 1. Osnovni terminy ta vyznachennia poniat [Standardization in the Field of Weapons and Military Equipment. Part 1. Basic Terms and Definitions of Concepts].* (2018). Kyiv [in Ukrainian].

33. *NATOTerm.* (n.d.). Retrived from <https://nso.nato.int>

D. A. Ischenko, D. L. Fedorchuk, L. M. Maryshchuk

APPROACH TO IMPROVING THE TERMINOLOGICAL SYSTEM OF ELECTRONIC WARFARE

The article substantiates the relevance of improving the terminological and conceptual base to ensure coordinated activities among military management bodies, troops (forces), scientific institutions, developers, and manufacturers – all participants in the processes of acquiring the necessary capabilities. Based on the analysis of the regulatory framework in the subject area, the field of military standardization, and relevant domestic and foreign publications of partner countries and NATO members, the need for the development of a scientifically grounded approach is determined. This approach is expected to ensure the effectiveness of the application of the standard for its intended purpose in acquiring the necessary capabilities. The study addresses the pressing issue of achieving an optimal degree of activity organization in the subject area through the application of a military standard. The requirement for a military standard is substantiated, which stipulates that in the direction of acquiring capabilities, the effectiveness of the military standard should be no lower than permissible, as this ensures the fulfillment of tasks as intended. A procedure for applying the principle of evaluating the achievement of the necessary effectiveness of a military standard by assessing the elements of complex terminological systems based on their contribution to the effectiveness of higher-order systems is proposed.

The military terminological standard, in its main substantive part (terms and definitions), is considered a complex set of subsystems – terminological systems with lower-order elements – term entries (a term with its definition), using which information exchange in the subject area carried out regarding the development and production (procurement) of weapons and military equipment, personnel and troops (forces) training, and the creation of new (or improvement of existing) organizational and staff structures and the regulatory framework for acquiring necessary capabilities. The article describes in a formalized manner the procedure that involves forming a judgment about the inclusion of a specific term system in the military standard, which is examined for the presence of necessary and sufficient conditions for performing such an operation.

The use of the presented approach will increase the efficiency of applying standardized terms and definitions in activities related to acquiring necessary capabilities.

Keywords: *electronic warfare; capability; military terminological standard; terminological system; term entry; effectiveness.*

В. Я. Горбач, Т. П. Горбач, К. М. Білоус

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Активізація інтересу виробників до наземних роботизованих систем у військовій сфері ставить нові виклики перед науковцями провідних країн світу щодо їх розробки та вдосконалення. Отриманий досвід застосування цих систем озброєння під час виконання бойових (спеціальних) завдань у ході відбиття широкомасштабної агресії РФ свідчить про їх стрімкий розвиток, а також перехід російсько-української війни в цифровий вимір, де провідну роль в ураженні противника та виконанні бойових (спеціальних) завдань відведено різного роду безкіпажним системам. Значного розвитку набули безпілотні авіаційні комплекси (системи) для ведення повітряної розвідки та вогневого ураження противника. На сьогодні в підрозділах Збройних Сил України проходить апробацію низка наземних та надводних роботизованих систем.

У статті проаналізовано останні розробки наземних роботизованих систем, варіанти їх класифікації відповідно до масогабаритних характеристик, ступеня автономності, характеру завдань, що виконуються, переваги та недоліки використання різних типів шасі. Наведено порівняльні характеристики наземних роботизованих систем різних класів, розглянуто їх загальну будову та функціональну структуру. На основі проведеного аналізу застосування основних видів наземних роботизованих систем надано блок-схему, у якій розкривається проблематика досліджень у цій галузі.

Встановлено фактори, які безпосередньо впливають на ефективність наземних роботизованих систем. Сформовано перелік основних критеріїв, що формують оцінку їх ефективності. Запропонований перелік обґрунтовано на базі основних викликів, які виникли в процесі аналізу наземних роботизованих систем під час виконання бойових (спеціальних) завдань, та первинних технічних вимог, що висувуються до будь-якого військового зразка озброєння.

Ключові слова: наземні роботизовані системи; критерій ефективності; багатокритерійна задача.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Широкомасштабна агресія РФ характеризується значним зсувом способів та методів бойових дій у бік застосування систем озброєнь із автоматичним або напівавтоматичним управлінням. Одним із таких зразків на сьогодні є наземні роботизовані системи (НРС). Вони дозволяють зберігати життя та здоров'я військовослужбовців і при цьому ефективно виконувати покладені на них завдання.

Проте для якісного виконання завдань за призначенням необхідне дослідження питань щодо їх класифікації, експлуатаційних, технічних та тактичних можливостей. Постійне зростання їх кількості, виконання ними різнотипних функцій зумовлюють необхідність як підготовки фахівців у цьому напрямку, так і розроблення нових підходів застосування НРС у сучасному бою.

© В. Я. Горбач, Т. П. Горбач, К. М. Білоус, 2024

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Варіанти класифікації, аналіз можливостей НРС наведено в працях [1–4]. Проте в наш час немає єдиного чіткого підходу до питання класифікації цих зразків озброєння. У [5, 6, 8] описано особливості застосування НРС у питаннях відеоспостереження та переміщення. Їх будову досліджено в роботах [7, 9]. Однак не вироблено єдиного підходу до вибору (комплектування) НРС залежно від способу застосування.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є аналіз сучасних НРС, а також математична постановка завдання для перспективних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Розробка НРС включає в себе транспортні засоби, якими можна керувати дистанційно або напівавтоматично. Якщо аналізувати наземний транспортний засіб (НТЗ), то мається на увазі засіб із системою дистанційного керування. Використовуючи термін “напівавтоматично”, слід зауважити, що він передбачає застосування елементів штучного інтелекту для виконання певних функцій, наприклад, ідентифікації об’єктів та розпізнавання елементів місцевості [1].

Незважаючи на підвищений інтерес до НРС, слід зауважити, що на сьогодні відсутні оперативні-технічні вимоги та технічні завдання для потенційних виробників в інтересах Міністерства оборони України. До найбільш важливих завдань цих систем для потреб Збройних Сил України належать: спостереження за полем бою; вогневе ураження противника; розвідка на тактичному рівні; дистанційне розмінування. Створення НРС спеціального призначення тісно пов’язане з необхідністю розробки їх складових з урахуванням можливої протидії противника (засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), стрілецьке озброєння, засоби осліплення електронно-оптичних приладів тощо).

Попри зацікавленість світових виробників до цього виду озброєння, на цей час немає його універсальної класифікації. НРС можна поділити за характеристиками, розміром та вагою.

Відповідно до характеру завдань НРС розподіляють на три групи [1, 3]: бойові; для виконання спеціальних завдань; багатоцільові зразки з комплектацією залежно від типу модуля. Згідно з вимогами замовників до НРС виробники формують перелік функцій для забезпечення максимальної ефективності зразка. Функції цих систем у військовій та цивільній сферах наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Функції НРС у військовій та цивільній сферах

Військова функція	Військова та цивільна функції
Виявлення хімічних, біологічних, радіологічних і ядерних елементів зброї противника; автоматичне захоплення цілі; проведення ударних дій (за наявності зброї); платформа для надання бойової підтримки (наприклад, підвезення живлення безпілотних повітряних систем, боєкомплекту); виявлення та знешкодження мін (наприклад, розмінування, пошук і знищення саморобних вибухових пристроїв)	Логістика та матеріально-технічне забезпечення підрозділів; моніторинг, розвідка, спостереження за полем бою; пошук і порятунок поранених

З урахуванням умов виконання військових (спеціальних) завдань НРС можуть комплектуватися різними типами рушіїв, переваги та недоліки застосування яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Переваги та недоліки застосування різних типів рушіїв НРС

Тип рушія	Перевага	Недолік
Колеса	Найбільш енергоефективний механізм пересування; можуть нести значну вогневу міць	Менше підходять для бездоріжжя
Гусениці	Добре підходять для використання бездоріжжям; можуть нести значну вогневу міць	Шумні, використання споживає багато енергії; працюють на низьких швидкостях
“Ноги”	Можуть добре маневрувати на пересіченій місцевості; можуть нести лише малі типи зброї	Як правило, повільні, вимагають більше енергії, ніж колеса або гусениці, а також є механічно складними через їх потребу в рівновазі та стабільності
Колеса та “ноги”	Можуть охоплювати більш різноманітні типи місцевості та долати деякі перешкоди; зазвичай можуть нести лише малі типи зброї	Складність конструкції для використання засобів ураження

Основні тактико-технологічні характеристики закордонних НРС наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Основні тактико-технологічні характеристики закордонних НРС

Назва комплексу, країна- розробник	SMSS, Lockheed Martin, США	Protector, HDT Robotics, США	MAAD, Northrop Grumman, США	AvantGuard MK1, (G-NIUS), Ізраїль	«Платформа-М», рф
Основне призначення	Транспортний, бойовий	Інженерний, бойовий	Транспортний	Інженерний, бойовий	Бойовий
Спосіб управління шасі	Ручне з борту машини, дистанційне, напівавтономне	Дистанційне або автономне (слідування за лідером)	Дистанційне радіоканалом, автономне	Дистанційне, напівавтономне	Дистанційне
Шасі	6-колісне	Гусеничне	6-колісне	4-гусеничне всюдихід TAGS	Гусеничне
Вага, кг	1810	1400	1500	2834	800
Силова установка, потужність	Дизельна, 80 к.с.	Дизельна з турбонадувом	Гібридна	Турбодизель Kubota	Акумуляторні батареї
Вантажопідйомність, кг	450–680	340 та причіп до 227	340	1088	250
Швидкість руху, км/год	40	8	11,3	20	12
Запас ходу	80 км (160 км – по шосе)	100 км (72 год)	36 год	250 км	Не менше 10 год
Озброєння	ДКБМ з 12,7 мм кулемет, 40 мм гранатомет, ПУ ПТРК	ДКБМ колового оберту CROWS M-153 5,56 мм або 7,62 мм кулеметом	ДКБМ CROWS з 12,7 (7,62 мм) кулеметом, 40 мм гранатомет або 30 мм авт. гармата	ДКБМ з 12,7 мм кулеметом	ДКБМ з 7,62 мм кулеметом ПКТ або «Печенег» (400) та 3 РПГ-26
Спеціальне обладнання	Місця для перевезення військових, майна та боєприпасів	Мінний трал шириною 60 см, ківш для ескаваторних робіт або підйомник, а також ПУ БпЛА	Вантажна платформа	Засоби розвідки (тепловізор, радар, лазерний далекомір) та РЕБ, а також мінні трали та міношукачі	Прилади спостереження та прицілювання, РЛС, тепловізор, далекомір, мінний трал

Класифікацію НРС на основі відмінностей їх масогабаритних параметрів наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Масогабаритні параметри НРС

№ з/п	Умовна назва класифікаційної групи	Середній габарит, м	Маса, кг	Сфера застосування	Примітки
1	Nano (мініатюрні)	До 0,025	Менше 0,1	Спеціальні операції	Використовуються із застосуванням ройових технологій
2	Micro («кишенькові»)	0,025–0,1	До 1	Спостереження, розвідка, виконання спецоперацій, службові операції	Можливе застосування роїв, екстремальні завдання, медична служба
3	Mini (малі, «ручні») переносні	0,1–0,4	1–6	Індивідуальний розвідник короткого радіуса дії, обмежені бойові операції, розмінування	
4	Midi (середні, основні) переміщувані: - однією людиною - двома - чотирма	0,25–1,6	6–25 25–63 63–250	Розвідка, маніпулювання об'єктами, стрілецькі операції, розмінування, бойові операції	На цей час основний вид військових роботів, що мають маніпулятори та системи відеоспостереження і військові засоби
5	Maxi (великі) саморухомі	1,6–4,0	250–1000	Розвідка, бойові операції, транспортування	Мають обмежене застосування через складність та високу вартість
6	Mega (дуже великі)	4,0–10,0	1000–10000	Транспортування вантажів, бойові операції	
7	Giga (величезні, гігантські)	Більше 10	Більше 10000	Комплексні роботи, транспортування, розмінування	

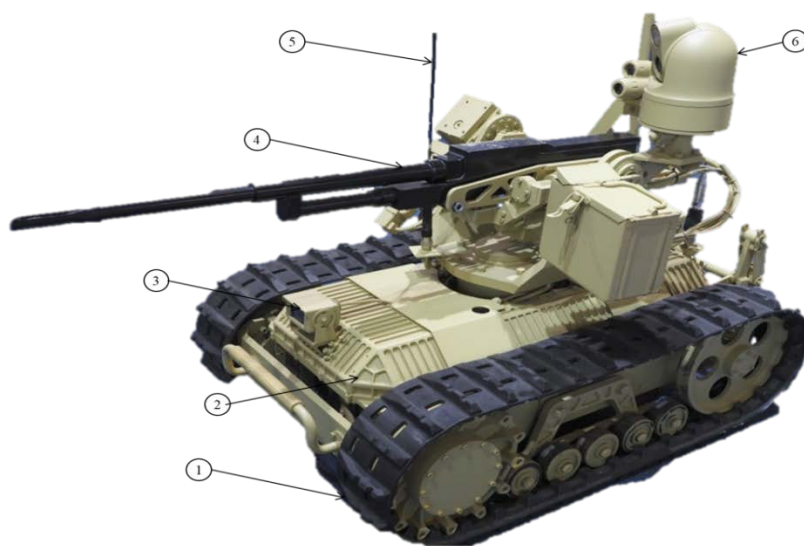


Рис. 1. Основні складові частини НРС:

1 – шасі; 2 – броньований корпус; 3 – системи колового огляду і технічного зору; 4 – спеціальне обладнання (турель); 5 – захищений блок управління з програмним забезпеченням; 6 – квантовий далекомір, відеокамери, активно-пасивний прилад нічного бачення

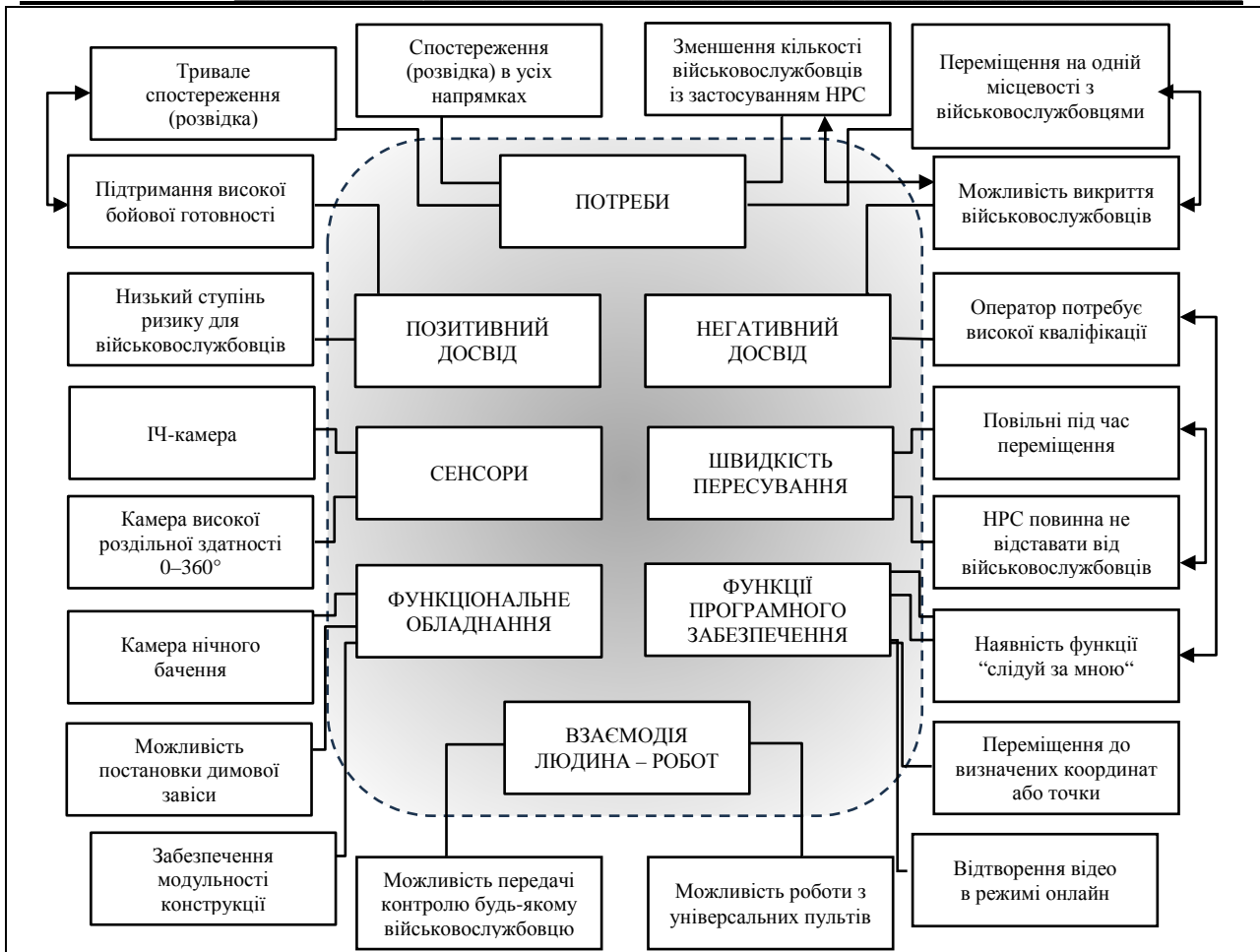


Рис. 2. Блок-схема проблематики досліджень НРС

На основі аналізу проблематики досліджень НРС (рис. 2), з урахуванням вимог до них, які ставлять перед розробниками, можна сформувавши перелік основних та часткових критеріїв для оптимального компонування комплексу. Отже, формалізуючи це завдання, необхідно визначити основні та часткові критерії, які впливають на ефективність застосування НРС, та ступінь їх впливу. Для спрощення пошуку оптимальної компоновки цих систем доцільно звести значення визначених критеріїв до безрозмірних величин та встановити ступінь важливості кожного з них через введення коефіцієнта пріоритету. Нижче на рис. 3 показано взаємозв'язок основних та часткових критеріїв ефективності комплектування НРС. Однак усі часткові критерії, які слід враховувати під час розробки таких систем, стануть відомими тільки після завершення дослідної експлуатації. Крім того, експерти в цій галузі можуть визначити вагові коефіцієнти кожного з них.

Проаналізувавши наявні НРС, які використовуються як провідними країнами, так і противником, можна формалізувати проблематику досліджень у цій галузі. Для їх проведення пропонуємо надати критерії ефективності комплектування НРС у математичному вигляді.

З урахуванням фізичної суті та напрямків екстремізації система критеріїв оцінювання ефективності комплектування складових НРС матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} K_{sens} \rightarrow \max, \\ K_t \rightarrow \min, \\ K_{soft} \rightarrow \max, \\ K_{man} \rightarrow \max, \\ K_{cost} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

де K_{sens} – критерій ефективності сенсорів НРС;

K_t – критерій ефективності за часом;

K_{soft} – критерій ефективності спеціалізованого програмного забезпечення;

K_{cost} – критерій ринкової вартості.

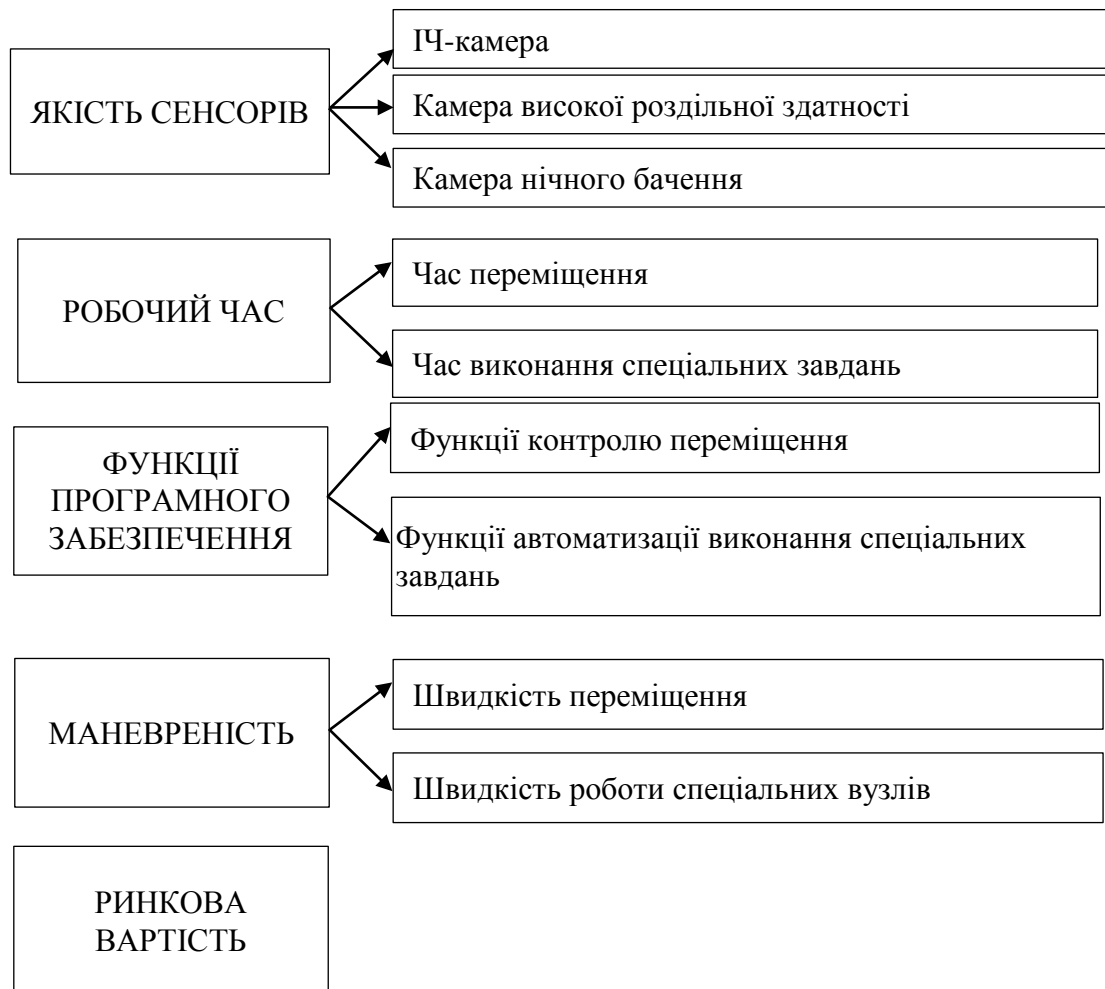


Рис. 3. Блок-схема функціональної залежності основних та часткових критеріїв ефективності комплектування НРС

Для проведення оцінювання доцільно ввести поняття узагальненого критерію ефективності, який буде функцією часткових критеріїв. У такому разі загальну ефективність комплектування складових НРС можна подати у вигляді функціональної залежності [10–12]:

$$K_i = f(k_1, k_2, \dots, k_w), \quad K_i \in \Omega, \quad n = \overline{[1, n]}, \quad (2)$$

де K_i – критерій ефективності комплектування, який може змінюватися в деякій області Ω ;

n – кількість основних критеріїв ефективності комплектування;

Ω – область можливих значень критеріїв ефективності НРС;

k_i – показник (параметр), який відображає вплив на поведінку критерію;

w – кількість показників (параметрів), які характеризують критерій ефективності комплектування.

Формування функції ефективності $F(K_i)$ для альтернативи деякій області Ω відбувається за рахунок згортання векторного критерію F у скалярний за допомогою різного виду згорток [13, 14]:

адитивної

$$F(K_i) = \sum_{j=1}^w \lambda_j K_{ij} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (3)$$

де λ_j – ваговий коефіцієнт переваги критерію;

мультиплікативної

$$F(K_i) = \prod_{j=1}^w K_{ij}^{\lambda_j} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1; \quad (4)$$

адитивно-мультиплікативної

$$F(K_i) = \sum_{j=1}^w \lambda_j K_{ij} + \prod_{j=1}^w K_{ij}^{\lambda_j} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (5)$$

а також похідних від цих згорток з урахуванням специфіки вирішуваних завдань.

Загальним недоліком таких методів згортки є, зокрема, те, що недостатнє значення одного критерію відносно іншого може бути компенсоване збільшенням значення іншого. Також є обмеження щодо їх односпрямованості. Застосування цих згорток не доцільне для пошуку оптимальних варіантів комплектування НРС, оскільки адитивну згортку не доцільно використовувати для визначення оптимумів взаємопов'язаних критеріїв. Мультиплікативна згортка має високу чутливість до зміни значень показників, тому незначна трансформація параметрів призводить до неадекватного результату узагальненого показника.

Підхід [14] базується на об'єднанні багатьох критеріїв якості системи в один, використовує нелінійну схему компромісів і дозволяє формально одержати оптимальне (щодо висунутих критеріїв) рішення. Порівняно з великою кількістю інших схем оптимізації, окрім загальних недоліків, він має такі переваги:

оптимізаційне завдання розв'язується за наявності обмежень, що в будь-якому разі гарантує отримання рішення;

метод забезпечує унімодальність результуючого функціонала;
невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення.

Тому для цього набору критеріїв доцільно застосувати згортку за нелінійною схемою компромісів [14]:

$$E(P_m) = \sum_{i=1}^w \lambda_i [1 - K_{0i}^n]^{-1} \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (6)$$

де $P_m = \{k_w\}_{i=1}^w$ – Ω -вимірний вектор критеріїв ефективності;

K_{0i}^n – нормований показник ефективності.

Висновки. Проаналізовано наявні та перспективні зразки НРС, виділено основні їх категорії залежно від виду спеціальних завдань у секторі оборони. Запропоновано реалізацію підходу до формування комплектування цих систем відповідно до дійсних потреб Сил оборони України. Розглянуто математичні методи для вирішення завдань щодо розроблення (оптимального вибору) елементів комплектування НРС. Отримані в результаті аналізу дані в подальшому можуть бути застосовані для розробки методів (методик) оцінювання вибору оптимального зразка за визначених умов та обмежень.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розробленні методів (методик) оцінювання вибору оптимального зразка НРС із застосуванням методів векторної оптимізації.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси : Монографія. Житомир : ПП «Рута», 2023. 524 с.
2. Liu O., Yuan S. and Li Z. A Survey on Sensor Technologies for Unmanned Ground Vehicles // 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS). Harbin, China, 2020. P. 638–645. <https://doi.org/10.1109/ICUS50048.2020.9274845>
3. Noah Goodall. Non-Technological Challenges for the Remote Operation of Automated Vehicles // Transportation Research. Part A: Policy and Practice. 2020. Vol. 142. P. 14–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.024>
4. Luca Bruzzone et al. Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot // Machines. 2021. Vol. 9, № 10. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.3390/machines9010010>
5. Stephen W. Milley. Moving fast – Mobility Matters // In: Armada International. 2019. P. 8–11. ISSN: 0252-9793.
6. Cruz Ulloa C., Prieto Sánchez G., Barrientos A., & Del Cerro J. Autonomous Thermal Vision Robotic System for Victims Recognition in Search and Rescue Missions // In: Sensors. 2021. № 21. P. 7346. <https://doi.org/10.3390/s21217346>
7. Mobile-Based Structure Design of Wheeled Mobile Robot / Zirong Luo, Jianzhong Shang, Guowu Wei, Lei Ren // Mechanical Sciences. 2018. Vol. 9. P. 103–121. <http://dx.doi.org/10.5194/ms-9-103-2018>

8. Baoquan Li, Yongchun Fang, Guoqiang Hu, Xuebo Zhang. Model-Free Unified Tracking and Regulation Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots // *Journal Sensors and Actuators A : Physical*. IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2016. Vol. 24, Iss. 4. P. 1328–1339.
9. Panagiotis Papadakis. Terrain Traversability Analysis Methods for Unmanned Ground Vehicles: A Survey // In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2013. № 26 (4). P. 1373–1385. ISSN: 0952-1976. <https://doi.org/10.1016/j.engappai>
10. Горбач В. Я., Бондаренко Ю. Л. Удосконалена методика оцінювання ефективності плану маршруту польоту розвідувального БПЛА I класу // *Зб. наук. праць ХНУПС*. Харків : 2020. № 2 (64). С. 45–62.
11. Горбач В. Я., Бондаренко Ю. Л., Дупелич С. О. Удосконалена математична модель планування маршрутів польоту розвідувальних безпілотних літальних апаратів класу тактичні // *Вісник ЖДТУ*. Житомир : ЖДТУ, 2019. № 1 (83). С. 206–213. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-206-213](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-206-213)
12. Methods of Planning the Flight Route for Class I Unmanned Aerial Vehicle of Special Purpose in a Given Area / V. Horbach, Y. Bondarenko, A. Pelts et al. // *Path of Science*. 2020. Vol. 6, No. 6. P. 1001–1010. <https://doi:10.22178/pos.59-2>
13. Воронин А. Н., Зиатдинов Ю. К., Куклинский М. В. Многокритериальные решения: модели и методы : монография. Киев : НАУ, 2011. 351 с.
14. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи нечітко логічних і нейромережних моделей. Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. 375 с.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024.

REFERENCES

1. Strutynskiy, V. B., & Hurzhii, A. M. (2023). *Nazemni robotyzovani kompleksi : Monohrafiia [Ground Robotic Complexes: Monograph.]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
2. Liu, O., Yuan, S. & Li, Z. (2020). A Survey on Sensor Technologies for Unmanned Ground Vehicles. In *3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*. (pp. 638–645). Harbin, China. <https://doi.org/10.1109/ICUS50048.2020.9274845>
3. Noah Goodall. (2020). Non-Technological Challenges for the Remote Operation of Automated Vehicles. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, Vol. 142, 14–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.024>
4. Luca Bruzzone et al. (2021). Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot. *Machines*, Vol. 9, № 10, 1–11. <http://dx.doi.org/10.3390/machines9010010>
5. Stephen, W. Milley. (2019). Moving fast – Mobility Matters. In: *Armada International*. (pp. 8–11). ISSN: 0252-9793.
6. Cruz Ulloa, C., Prieto Sánchez, G., Barrientos, A., & Del Cerro J. (2021). Autonomous Thermal Vision Robotic System for Victims Recognition in Search and Rescue Missions. In: *Sensors*, № 21, 7346. <https://doi.org/10.3390/s21217346>

7. Zirong Luo, Jianzhong Shang, Guowu Wei, & Lei Ren. (2018). Mobile-based structure design of wheeled mobile robot. *Mechanical Sciences*, Vol. 9, 103–121. <http://dx.doi.org/10.5194/ms-9-103-2018>
8. Baoquan Li, Yongchun Fang, Guoqiang Hu, Xuebo Zhang. (2016). Model-Free Unified Tracking and Regulation Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots. *Journal Sensors and Actuators A : Physical. IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 24, Iss. 4, 1328–1339.
9. Panagiotis Papadakis. (2013). Terrain Traversability Analysis Methods for Unmanned Ground Vehicles: A Survey. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, № 26 (4), 1373–1385. ISSN: 0952-1976. <https://doi.org/10.1016/j.engappai>
10. Horbach, V. Ya., & Bondarenko, Yu. L. (2020). Udokonalena metodyka otsiniuvannia efektyvnosti planu marshrutu polotu rozviduvalnoho BpLA I klasu [Improved Method of Evaluating the Effectiveness of the Flight Route Plan of the First-Class Reconnaissance UAV]. *Zb. nauk. prats KhNUPS [Collection. of science works of KhNAFU]*, № 2 (64), 45–62. Kharkiv [in Ukrainian].
11. Horbach, V. Ya., Bondarenko, Yu. L., & Dupelych, S. O. (2019). Udokonalena matematychna model planuvannia marshrutiv polotu rozviduvalnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ klasu taktychni [An Improved Mathematical Model for Planning the Flight Routes of Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicles of the Tactical Class]. *Visnyk ZhDTU [The Journal of Zhytomyr State Technological University]*, № 1 (83), 206–213. Zhytomyr. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-206-213](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-206-213) [in Ukrainian].
12. Horbach, V., Bondarenko, Yu., & Pelts, A. et al. (2020). Methods of Planning the Flight Route for Class I Unmanned Aerial Vehicle of Special Purpose in a Given Area. *Path of Science*, Vol. 6, № 6, 1001–1010. <https://doi:10.22178/pos.59-2>
13. Voronin, A. N., Ziatdinov, Iu. K., & Kuklinskii, M. V. (2011). *Mnogokriterial'nye resheniia: modeli i metody: monografiia [Multicriteria Solutions: Models and Methods: monograph.]*. Kyiv [in Russian].
14. Subbotin, S. O., Oliinyk, A. O., & Oliinyk, O. O. (2009). *Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody nechitko lohichnykh i neiromerezhnykh modelei [Non-Iterative, Evolutionary and Multi-Agent Methods of Fuzzy Logic and Neural Network Models]*. Zaporizhzhia [in Ukrainian].

V. Ya. Horbach, T. P. Horbach, K. M. Bilous

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF GROUND-BASED ROBOTIC SYSTEMS

The revival of manufacturers interest in ground-based robotic systems pose new challenges to scientists of the world's leading countries in terms of their development and improvement. Considerable experience was obtained in the use of ground-based robotic systems during the performance of combat (special) tasks in the course of repelling large-scale aggression of the Russian Federation. The rapid development of weapons system data is due, among other things, to the transition of the Russia-Ukraine war into the digital dimension, where the leading role in defeating the enemy and performing combat (special) tasks is assigned to various types of unmanned systems. Unmanned aircraft systems for aerial reconnaissance and FPV drones have

developed significantly. Currently, a number of ground-based and surface robotic systems are being tested in units of the Armed Forces of Ukraine.

This paper analyses the latest developments of ground-based robotic systems, options for their classification in accordance with mass-dimensional characteristics, the degree of autonomy, the nature of the tasks performed, the advantages and disadvantages of using different types of engines. Comparative characteristics of ground robotic systems of different classes, general and functional structures are given. Based on the analysis of the application of the main types of ground-based robotic systems, a block diagram which reveals the problems of research in this field was developed.

Factors that directly affect the overall effectiveness of ground-based robotic systems are given. A list of the main criteria forming a general assessment of the effectiveness of ground-based robotic systems has been created. This list is justified on the basis of the main challenges that arose during the analysis of ground-based robotic systems during the performance of combat (special) tasks and the primary technical requirements that are put forward for any military type of weaponry.

Keywords: *ground-based robotic systems; efficiency criterion; multi-criteria problem.*

С. А. Цибуля, В. Ю. Тимчук, Н. С. Цибуля

МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАМАСКОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглянуто застосування нейронної мережі для виявлення замаскованих об'єктів, прихованих природними масками та засобами маскування. Такі об'єкти зазвичай різноманітні за розмірами, нечіткі та візуально зливаються з місцевістю, що ускладнює їх виявлення системами комп'ютерного зору.

Автори проаналізували алгоритми машинного навчання, які використовуються для сегментації та виявлення об'єктів на зображеннях. Враховуючи отримані результати, для вирішення завдання виявлення замаскованих об'єктів у роботі пропонуємо модель нейронної мережі з архітектурою енкодер-декодер. Її особливостями є: застосування на вході додаткового прошарку, на який подається зображення, оброблене фільтром Собеля, що дозволяє підсилити виявлення країв та текстури об'єктів; використання алгоритму розтягування згортки в блоках енкодера паралельно основній частині визначення ключових ознак зумовлює зниження залежності виявлення від розмірів об'єктів; застосування в блоках декодера механізму зосередження уваги на важливих ділянках зображення підвищує ймовірність правильної класифікації цих ділянок у разі невпевненості моделі щодо їх належності. Проведення експериментів шляхом моделювання з різними гіперпараметрами нейронної мережі дозволило визначити, що бінарна перехресна ентропія найбільше підходить як функція втрат, для розв'язання задачі виявлення об'єктів із сильними фоновими шумами, а вибір для функції активації *Parametric Rectified Linear Unit* дозволяє підвищити точність сегментації об'єктів. Також розглянуто використання різноманітних метрик щодо оцінювання ефективності створеної моделі.

Тестування на наборах даних із реальними замаскованими об'єктами дозволило виявити проблемні питання, що впливають на процес сегментації в цілому та на точність виявлення замаскованих об'єктів зокрема, розв'язання яких дозволяє покращити ефективність роботи нейронних мереж. Результати досліджень пропонуємо використовувати під час створення засобів маскування для визначення їх ефективності на різних природних територіях, а також для пошуку замаскованих об'єктів противника в ході обробки розвідувальних даних.

Ключові слова: комп'ютерний зір; машинне навчання; згорткова нейронна мережа; зображення місцевості; набір даних; маскувальний малюнок; засіб маскування; замаскований об'єкт; сегментація; функція втрат; метрика.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Оцінювання ефективності засобів маскування традиційно проводиться шляхом їх випробування в польових умовах, за результатами яких визначають відповідність маскувального малюнка (колірної палітри та текстури) засобу місцевості й оцінюють ефективність приховування військового об'єкта, © С. А. Цибуля, В. Ю. Тимчук, Н. С. Цибуля, 2024

замаскованого цим засобом. Для автоматизації зазначеного процесу та уникання помилок, виключення впливу суб'єктивності в роботі експертів-спостерігачів доцільно використовувати системи комп'ютерного зору. Одним із найскладніших завдань, яке стоїть перед такими системами обробки візуальних даних, є проведення групування та позначення подібних ділянок (сегментів) у зображеннях на піксельному рівні. Цей процес відомий як сегментація, його метою є визначення належності кожної точки зображення (пікселя) певному класу об'єктів. Його результатом є множина сегментів, які разом покривають усе зображення, або множина контурів, виділених на ньому. Усі пікселі в сегменті поєднані за деякою характеристикою чи за визначеною властивістю, наприклад, колір, яскравість або текстура. У ході аналізу зображень на наявність замаскованих об'єктів виконується класифікація пікселів за належністю до класу замаскованого об'єкта або фонові поверхні, на якій його розміщено.

Складність процесу сегментації залежить від характеристик вхідних зображень та їх внутрішнього контексту. Методи сегментації можна поділити на дві групи: на основі виявлення подібності та на основі меж (порогів) [1]. Перші розділяють зображення на сегменти, що мають схожі набори пікселів. Методи другої групи виділяють межі сегментів на основі певної відмінності в характеристиках ділянок зображення. Обидві групи мають складності в роботі із зображеннями, на яких слабо виражені краї ділянок, що можуть бути дуже подібні між собою або на них присутній високий рівень шуму.

Протягом останніх десятиліть було розроблено багато різних алгоритмів сегментації зображень. Проте їх застосування для виявлення замаскованих об'єктів викликає певні труднощі внаслідок варіативності маскувальних малюнків та не відповідає вимогам військової галузі щодо надійності й точності. Тому завдання розроблення алгоритмів пошуку замаскованих об'єктів є актуальною науково-прикладною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із розвитком згорткових нейронних мереж відкрилися нові перспективи розв'язання задачі комп'ютерного зору щодо сегментації в реальному часі та з достатньою точністю. Першою успішною моделлю була FCN-8 (англ. fully convolutional network), яка стала основою для подальших розробок нейронних мереж для сегментації зображень [2]. Базуючись на цій роботі, більшість мереж використовують архітектуру енкодер-декодер. На даний час популярними моделями нейронних мереж є: U-Net, SegNet, Mask R-CNN, YOLACT/YOLACT, YOLO (англ. you only look once) тощо. Кожна зі згаданих моделей має свої унікальні характеристики та оптимізована під різні види сегментації: семантичну (англ. semantic segmentation), об'єктну (англ. instance segmentation) та паноптичну (англ. panoptic segmentation).

Семантична сегментація – процес призначення всіх пікселів зображення до об'єктів певного класу. Її недоліком є неможливість визначати окремо об'єкти одного класу. Відомі такі моделі нейронних мереж для семантичної сегментації: SegNet, U-Net, DeconvNet і FCN тощо.

Об'єктна сегментація стосується задач комп'ютерного зору, пов'язаних із кількісним аналізом об'єктів. Надає можливість виявити кожен об'єкт або екземпляр класу, присутній на зображенні, і призначити йому власний сегмент або виділити рамкою

з унікальним ідентифікатором. Найбільш відомі такі моделі нейромереж: Mask R-CNN, Faster R-CNN, PANet і YOLACT.

Паноптична сегментація – поєднання підходів семантичної та об'єктної сегментації, коли кожному пікселю зображення присвоюється семантична мітка та унікальний ідентифікатор об'єкта. Більшість моделей паноптичної сегментації базуються на моделі Mask R-CNN: UPSNet, FPSNet, EPSNet і VPSNet.

В останні роки у зв'язку з активним розвитком машинного навчання питанню виявлення об'єктів в інтересах збройних сил різних країн за допомогою комп'ютерних систем приділяється все більше уваги. У статті [3] проаналізовано шляхи розв'язання проблеми сегментації високотекстурованих об'єктів, які мають великий діапазон зміни можливих значень кольору, в інтересах оброблення та автоматизації процесу дешифрування даних аерокосмічного знімання. З'ясовано, що найкращий результат можливо отримати в разі використання методів опису й виміру текстури, що ґрунтуються на обчисленні кількості перепадів яскравості на одиницю площі зображення та опису текстури на основі визначення її фрактальної розмірності.

Дослідження [4] присвячено виявленню людей, одягнених у військову форму з маскувальним малюнком (камуфляж), які знаходяться в природному середовищі. Для його проведення було створено спеціальний набір даних (англ. dataset) із зображеннями 20 зразків найбільш популярної військової форми, наприклад: British Multi-Terrain Pattern, Desert Digital MARPAT тощо. Для виявлення таких осіб автори розробили нейронну мережу на основі згорткової нейронної мережі CNN (англ. convolutional neural network). Для покращення результатів пошуку були застосовані алгоритми створення суперпікселів та обмеження просторової гладкості. Результати експериментів показали перевагу запропонованого підходу над класичними CNN-базованими методами виявлення. Продовження досліджень було висвітлено в роботі [5], основними їх особливостями є: розширення кількості зразків форми до 26; нова модель нейронної мережі; застосування для трансферного навчання моделі VGG-Net; використання розширених згорткових шарів для збільшення рецептивного поля нейронів без збільшення кількості ваг.

У [6] автори розглядають процес виявлення військовослужбовців за допомогою безпілотного літального апарата. Була створена нейронна мережа, особливістю якої є поєднання навчання одночасно на промаркованих (анотованих) і немаркованих даних, а також застосування модуля уваги до країв об'єктів, який становить собою додаткові прошарки, що інтегруються в основну архітектуру мережі та відповідають за модифікації ваг нейронної мережі щодо підвищення чутливості до країв. Це дозволило покращити точність виявлення об'єктів.

Стаття [7] присвячена виявленню замаскованих об'єктів COD (англ. camouflaged object detection), що є складнішим завданням порівняно з виявленням інших об'єктів через високий ступінь їх злиття з фоном. Автори розробили нейронну мережу MAGNet (англ. MAGnifier network), особливістю якої є наявність двох паралельних модулів: ергодичного збільшення зображення та фокусування уваги. MAGNet була протестована на загальнодоступних COD-датасетах та на власному датасеті із замаскованими військовими об'єктами. Ця нейронна мережа показала кращі результати на восьми метриках оцінювання порівняно з іншими моделями виявлення.

Автори дослідження [8] пропонують використовувати для визначення замаскованих об'єктів згорткову нейронну мережу із сімейства мереж YOLO, особливістю роботи якої є розрахунок імовірності правильної класифікації для всіх виявлених об'єктів, на основі яких будується теплова карта ефективності маскувального малюнка на місцевості. З'ясовано, що ймовірність класифікації моделі з високим відсотком сходиться з оцінкою людини-спостерігача, а чим ефективніший маскувальний малюнок, тим нижчу ймовірність класифікації видає модель.

Удосконалення архітектури YOLO для покращення виявлення замаскованих об'єктів виконано в роботі [9]. Запропонований алгоритм MC-YOLOv5s використовує YOLO версії v5s як базову структуру. Основна ідея полягає в застосуванні двовимірного дискретного косинусного перетворення для аналізу спектральних компонентів зображення. У результаті внесених змін середня точність mAP (англ. mean average precision) алгоритму MC-YOLOv5s досягла 94%, що більше, ніж у базової моделі, на 3,7%.

Заслуговує на увагу також публікація, присвячена виявленню об'єктів флори й фауни, які мають властивості до маскування [10]. Для проведення досліджень було зібрано набір даних, що містить 10000 зображень з об'єктами в різних природних сценах. Ці зображення детально анотовані за 78 категоріями, об'єктами та інстанціями. Була розроблена нейронна мережа SINet (англ. search identification network), яку протестували на створеному датасеті та на інших наборах даних для виявлення замаскованих біологічних об'єктів: CAMO [11], CAMO++, COD10K, UW-RS, NC4K. Під час роботи SINet на першому пошуковому етапі виділяє невеликі просторові зсуви на зображенні, що дозволяє інтегрувати більш дискримінаційні подання ознак в локальному просторі. На другому етапі вона застосовує частинний декодер, який здійснює агрегацію ознак із різних рівнів для генерації кінцевої карти об'єкта, використовуючи механізм уваги для підсилення середньорівневих ознак і кращого виділення об'єктів. Такий підхід дозволяє SINet визначати наявність замаскованого об'єкта на зображенні, точно ідентифікувати його, навіть якщо він добре зливається з навколишнім середовищем.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розроблення моделі нейронної мережі для виявлення замаскованих об'єктів, прихованих природними масками та засобами маскування.

Виклад основного матеріалу. Особливістю маскувального малюнка засобу маскування є його здатність візуально збігатися та зливатися з місцевістю, у результаті чого він стає нечітким на вигляд. Окрім високої подібності між замаскованими об'єктами та фоном, ці об'єкти зазвичай різноманітні за масштабом (розмірами). На складність їх виявлення впливає також відмінність між процесом детекції особового складу, озброєння та військової техніки, унаслідок різних робочих відстаней їх виявлення. Тому для чіткого розуміння, де знаходяться і що це за об'єкти, доцільно виконувати сегментацію зображень. Виявлення замаскованих об'єктів є складним завданням унаслідок:

високої візуальної схожості засобів маскування з природним фоном, різниця полягає лише у відтінках;

впливу часу доби та погодних умов у процесі знімання на якість цифрових зображень. Недостатня освітленість, наявність крапель роси, рух рослин від вітру можуть призвести

до неякісного зображення;

впливу технічних характеристик апаратури для знімання та форматів зберігання знімків на зміну палітри кольорів у разі стискання вхідного сигналу;

довільних початкових умов формування цифрових зображень об'єктів на місцевості, обумовлених різними ракурсами фотографування, висотами літального апарата під час аерофотографування, положення й місцеперебування об'єктів.

На сам процес сегментації зображень впливають такі фактори:

складність фону на зображенні, де можуть бути ділянки, схожі із цільовими об'єктами за формою, кольором або текстурою;

наявність певної кількості об'єктів, подібних до цільового. Модель може згенерувати кілька сегментів, що їм відповідають. Це особливо актуально для завдань, де об'єкти часто зустрічаються в групах чи скупченнях;

перекриття об'єктів впливає на роботу моделі, яка може інтерпретувати частини одного об'єкта як кілька окремих, особливо якщо перекриття значно змінює його видиму форму;

змінність форми об'єктів, передусім тих, які можуть сильно трансформуватися за формою або розміром. Можлива неправильна ідентифікація частини об'єкта або позначення окремих його ділянок як поодиноких цільових об'єктів;

шум або артефакти на зображенні, спричинені процесом знімання або стискання, можуть призвести до помилкового виявлення ділянок, схожих на об'єкти.

Нейронні мережі мають потенціал до розв'язання більшості зазначених проблем, оскільки здатні навчатися та покращувати якісь свої роботи зі збільшенням кількості наявних прикладів та внесенням змін у їх архітектуру. За критерії для вибору архітектури нейронної мережі може бути використано: забезпечення необхідної точності розпізнавання; мінімально необхідний розмір навчального датасету; мінімальна кількість епох для навчання; достатня швидкість розпізнавання в режимі практичної роботи.

Для визначення замаскованих об'єктів пропонуємо модель нейронної мережі з архітектурою (рис. 1), вхідними даними для якої слугують зображення замаскованого об'єкта.

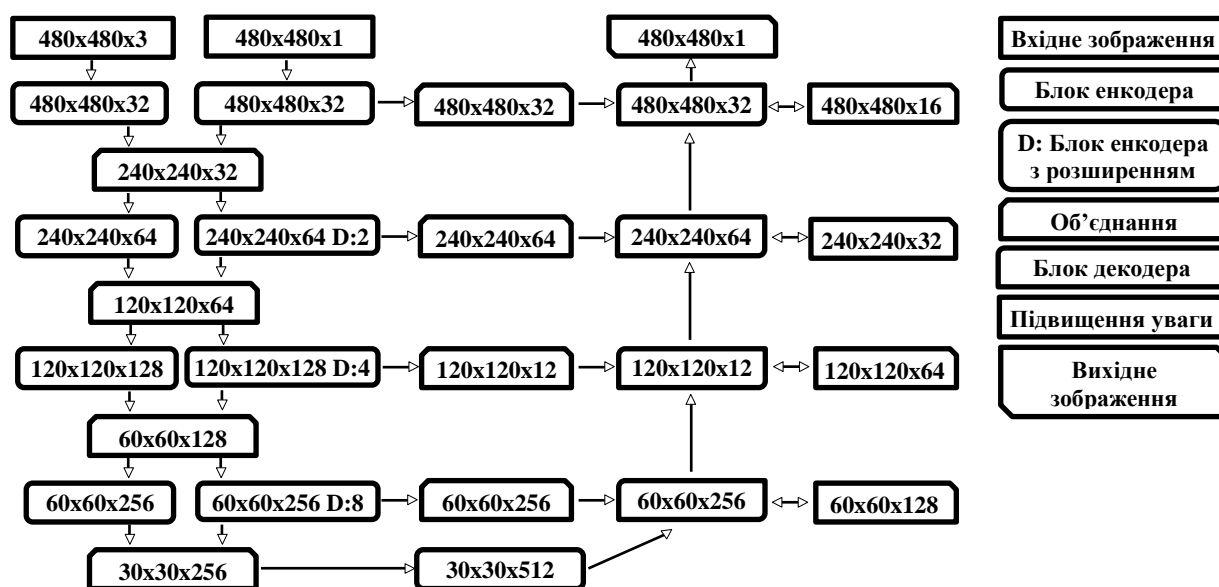


Рис. 1. Архітектура моделі нейронної мережі для визначення замаскованих об'єктів

Для покращення якості роботи моделі застосовується попередня підготовка вхідних даних: вирізання з кожного основного зображення робочої частини розміром 480 x 480 пікселів із розміщенням замаскованого об'єкта посередині та створення додаткового зображення, яке попередньо оброблене фільтром Собеля (рис. 2).

Особливість архітектури розробленої нейронної мережі полягає у:
застосуванні додаткового прошарку для попереднього обробленого фільтром Собеля вхідного зображення;

використанні симетричних пропусків з'єднань (англ. skip connector);

застосуванні розтягування згортки (англ. dilation);

використанні механізму уваги (англ. attention gate);

використання функції активації PReLU (англ. parametric rectified linear unit).

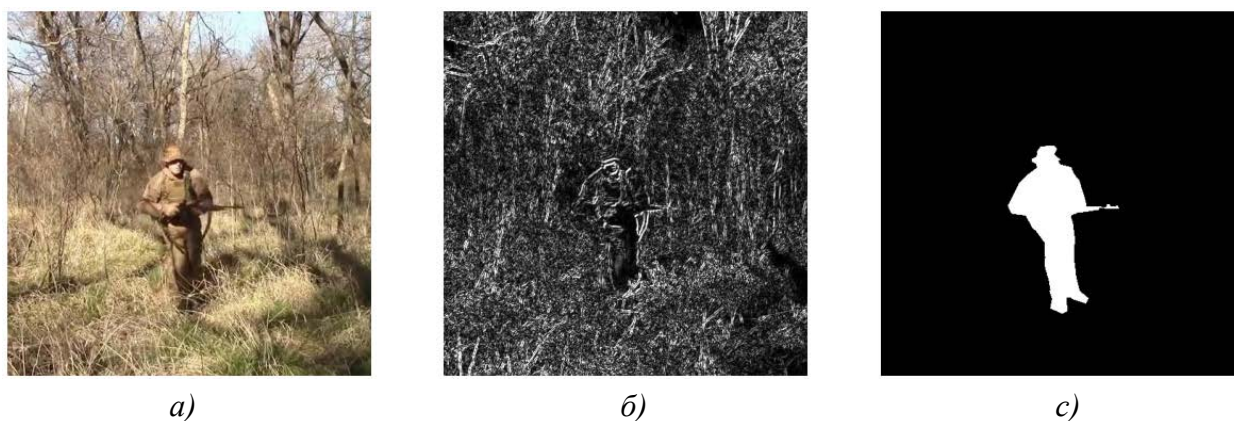


Рис. 2. Зображення, що подаються на вхід нейронної мережі для навчання: а) початкове зображення [4]; б) оброблене фільтром Собеля; в) маска

Мережа має симетричну структуру та складається з двох частин: енкодера й декодера. У першій її частині вхідне зображення проходить через кілька основних блоків, кожен з яких містить згорткові шари з фільтрами розміром 3 x 3 із застосуванням доповнення (англ. padding), що дозволяє зберігати розміри вхідних даних. Усі згорткові шари супроводжуються функцією активації для введення нелінійності. Після згорток виконується максимальна дискретизація (англ. max pooling), що знижує розмірність даних та збільшує поле зору нейронів. Паралельно до основних блоків енкодера застосовуються блоки з розтягуванням згортки, що забезпечує виявлення об'єктів меншого масштабу, ніж ті, що використовувалися для навчання мережі. Об'єднання результатів роботи основних і додаткових блоків допомагає комбінувати ознаки з різними рівнями контекстуальної інформації, що покращує здатність мережі розрізняти складні структури на зображеннях. Кількість каналів ознак (англ. feature channels) в енкодері подвоюється на кожному рівні зниження дискретизації.

У другій частині мережі застосовуються операції транспонованої згортки (англ. upsampling), що дозволяє збільшувати розміри карт ознак до первісного розміру вхідного зображення. Використання пропусків з'єднань, які передають карти ознак із відповідних шарів енкодера до декодера, допомагає зберегти контекстну інформацію, яка

могла бути втрачена під час стиснення. Це покращує загальне навчання моделі та точність реконструкції сегментованих ділянок.

У моделі реалізовано м'який алгоритм (англ. soft attention) механізму уваги, який допомагає мережі зосередитися на більш важливих ділянках зображення, підвищуючи тим самим якість відтворення та деталізації вихідного зображення. Моделювання уваги здійснюється за допомогою неперервно змінюваних ваг, оптимізація яких відбувається в ході зворотного поширення помилок у процесі навчання мережі.

Ці модифікації роблять модель більш гнучкою та потенційно здатною краще справлятися із задачами сегментації об'єктів зі складними текстурами.

У ході пошуку оптимальної характеристики моделі необхідно проаналізувати вплив кожного гіперпараметра на досягнуту якість сегментації. Процес навчання моделі залежить від початкової ініціалізації її параметрів, зазвичай він не є відтворюваним, оскільки ініціалізація параметрів – це стохастичний процес, однак є підходи щодо використання обмеженої множини значень, з якої розпочинається зчитування випадкової послідовності чисел для ініціалізації ядер. У роботі використовується метод HeNormal, який є вибіркою зі скороченого нормального розподілу, що дозволяє зробити процес навчання дещо відтворюваним.

У ході тренування моделей нейронних мереж для завдань сегментації функція втрат (помилки, англ. loss function) відіграє ключову роль, оскільки вона вимірює розбіжності між передбаченнями моделі та істинними значеннями. Ця функція допомагає керувати процесом навчання моделі, оптимізуючи її здатність точно розрізняти різні семантичні класи на зображеннях. Вона безпосередньо впливає на процес навчання через оптимізатор, який використовує значення втрат для оновлення ваг моделі з метою мінімізації цих втрат. З урахуванням того, що в роботі для виявлення замаскованих об'єктів взято лише один клас, до якого належать усі маскувальні малюнки засобів маскування, то анотацією у датасетів є бінарне зображення – чорно-біла маска (рис. 2). Для сегментації таких зображень, де кожен піксель має бути класифікований як належний до об'єкта (білий) або до фону (чорний), є декілька функцій втрат [12]: бінарна перехресна ентропія (англ. binary cross-entropy (BCE)), binary focal loss with logits, focal loss, dice loss, tversky loss. Функція втрат BCE вимірює розбіжність між істинними мітками та передбаченими ймовірностями кожного класу. Вона поєднує принципи перехресної ентропії з теорії інформації, яка оцінює кількість інформації, необхідної для вираження одного розподілу через інший, та бінарної класифікації, що робить її ефективною для оцінювання моделей, які передбачають належність до одного з двох можливих класів. Решта функцій є розширенням та модифікаціями BCE, вони призначені для розв'язання проблеми дисбалансу класів. Результати тестування різних функцій втрат наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення метрики середнього IoU залежно від функції втрат

Функція втрат	Binary cross-entropy	Tversky (0,3, 0,7)	Tversky (0,7, 0,3)	Binary focal loss with logits	Dice	Binary cross-entropy + Dice
Середнє IoU	0,914	0,908	0,912	0,907	0,894	0,877

З табл. 1 видно, що найкраще показала себе функція втрат BCE. Для зображення розміром $W \times H$ загальна помилка, що обчислюється функцією BCE, буде дорівнювати сумі втрат на всіх пікселях зображення:

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i = -\frac{1}{WH} \sum_{i=1}^{WH} [y_i \times \ln p_i + (1 - y_i) \ln (1 - p_i)], \quad (1)$$

де N – кількість пікселів у зображенні, шт.;

y_i – істинна мітка для i -го елемента (0 – фон або 1 – об'єкт);

p_i – передбачена моделлю ймовірність, що i -й елемент належить до класу об'єкта.

$$N = W \times H, \quad (2)$$

де W, H – висота та ширина зображення відповідно, px.

Якщо передбачена ймовірність (p_i) дуже близька до істинної мітки (y_i), то компонент втрати для цього пікселя має мале значення. Коли ж передбачена ймовірність (p_i) далека від істинної мітки (y_i), тоді компонент втрати для цього елемента великий.

Виділяють такі способи оцінювання якості роботи алгоритмів семантичної сегментації: об'єктивний та суб'єктивний. Недоліком суб'єктивних способів оцінювання є наявність людського фактора в роботі експертів. Об'єктивні методи використовують кількісні показники та базуються на застосуванні метрик для порівняння вихідного результату алгоритму з еталоном. Тому для навчання моделей алгоритми метрик відіграють важливу роль в оцінюванні їх ефективності. Вони дозволяють аналізувати, наскільки добре модель відрізняє цільові об'єкти від фону. Метрики не впливають на процес оновлення ваг під час навчання моделі, а призначені для оцінювання її продуктивності, надають інтуїтивно зрозумілі показники ефективності. Для бінарної сегментації зображень є кілька ключових метрик: коефіцієнт Дайса (англ. Dice coefficient), точність (англ. precision), чутливість (англ. recall), F1-Score, специфічність (англ. specificity), AUC-ROC (англ. area under the receiver operating characteristic curve), MCC (англ. matthews correlation coefficient). Найбільш простим є індекс Жаккара (англ. Jaccard index), інша назва IoU (англ. intersection over union), який вимірює відношення перетину між передбаченою (A) та істинною маскою (B) і показує, наскільки вони сходяться. IoU визначають у такий спосіб:

$$\text{IoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, \quad (3)$$

де A – передбачена маска;

B – істинна маска;

$(A \cap B)$ – кількість пікселів, які належать як передбаченій, так й істинній масці, тобто їх перетину (англ. intersection);

$(A \cup B)$ – загальна кількість пікселів, що включає всі пікселі, які належать хоча б до однієї з масок (передбаченої або істинної) або їх об'єднанню (англ. union).

Чим ближче значення IoU до одиниці, тим краща точність сегментації моделі.

Функції активації згорткових прошарків нейронної мережі є важливою складовою її архітектури. Значення метрики IoU залежно від функції активації наведено в табл. 2. За результатами моделювання в роботі було вибрано для використання функцію активації PReLU.

Таблиця 2

Значення метрик IoU залежно від функції активації

Функція активації	LeakyReLU	ReLU	PReLU
Середнє IoU	0,927	0,914	0,931

Одним зі способів удосконалення роботи нейронної моделі та підвищення швидкості її навчання є використання попередньо навчених нейронних мереж типу VGG, DenseNet, EfficientNet тощо (англ. transfer learning). За результатами моделювання визначено, що цей спосіб не покращує результати розпізнавання замаскованих об'єктів, унаслідок навчання інших нейромереж на типах даних, які за текстурами та зовнішнім виглядом значно відрізняються від маскувальних малюнків.

Оскільки в завданнях сегментації важливо точно знати межі об'єкта, то додаткове їх виокремлення перед початком навчання має покращити роботу мережі. Ці межі (краї) позначають місця розриву зображення в рівнях сірого, інших кольорів, текстур тощо. Відомі різні алгоритми детекторів країв, як-от: оператори Собеля, Кірша, Превітта тощо. Додавання в нейромережу додаткових шарів із зображеннями, обробленими такими алгоритмами, може бути доцільним, оскільки ці методи виявлення меж підкреслюють важливі особливості зображення, які допомагають нейронній мережі краще розуміти контури та текстурні особливості маскувального малюнка об'єкта.

Результатом роботи нейронної мережі є отримання на виході моделі ймовірності належності пікселя до об'єкта чи до фону. Важливим при цьому є визначення значення оптимального порога передбачення (англ. threshold), за яким вихід моделі розділяється на два класи: позитивний і негативний. Для цього застосовують такі алгоритми: ROC Curve і AUC-ROC, індекс Юдена J тощо.

Завершальним етапом проектування та навчання нейронної мережі є її перевірка щодо можливості визначення об'єктів на зображеннях, які не використовувалися в ході навчання та верифікації. За її результатами приймається рішення про доцільність використання отриманої моделі на практиці.

Висновки. У статті проаналізовано підходи до застосування нейронних мереж для сегментації зображень та перевірено можливість їх використання для визначення об'єктів, прихованих засобами маскування. Тестування на наборах даних із реальними замаскованими об'єктами дозволило визначити архітектуру моделі нейронної мережі. Її особливостями є: використання на вході додаткового прошарку, на який подається зображення, оброблене фільтром Собеля, а також алгоритму розтягування згортки в блоках енкодера паралельно основній частині визначення ключових ознак із вхідних зображень; застосування в блоках декодера механізму зосередження уваги на важливих ділянках зображення.

У ході проведених досліджень були виокремлені проблемні питання, які впливають на процес сегментації в загальному та на виявлення замаскованих об'єктів зокрема. Для їх

вирішення пропонуємо розглянути такі напрямки:

дослідження можливих шляхів удосконалення архітектури нейронної мережі, що вплине на якість сегментації;

визначення критеріїв та показників точності сегментації щодо належності отриманих сегментів зображення до замаскованих об'єктів;

збір й анотування розширених датасетів із замаскованим особовим складом, а також озброєнням та військовою технікою;

розширення наборів даних за допомогою генерування синтетичних даних;

оцінювання ефективності й доцільності проведення попередньої та завершальної обробки зображень.

У роботі проведено дослідження щодо визначення оптимальної архітектури нейронної мережі для виявлення замаскованих об'єктів на зображеннях, що має значну практичну цінність для використання у системах комп'ютерного зору військового призначення. Результати досліджень пропонуємо використовувати для створення маскувальних малюнків засобів маскування на етапі визначення їх ефективності застосування на різних місцевостях та в природних зонах, а також у ході обробки розвідувальних даних для пошуку прихованих об'єктів противника.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Kaur D., Kaur Y. Various Image Segmentation Techniques: A Review // IJCSMC. 2014. Vol. 3, № 5. P. 809–814.
2. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. P. 3431–3440. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4038>
3. Березіна С. І., Гордієнко Ю. О., Солонець О. І. Аналіз шляхів вирішення проблеми сегментації високотекстурованих об'єктів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2019. Вип. 17. С. 27–40. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2019.17.03>
4. Detection of People with Camouflage Pattern via Dense Deconvolution Network / Zheng Y., Zhang X., & Wang F. et al. // IEEE Signal Processing Letters. 2019. Vol. 26, № 1. P. 29–33. <https://doi.org/10.1109/LSP.2018.2825959>
5. Camouflage People Detection via Strong Semantic Dilation Network / Fang Z., Zhang X., & Deng X et al. // Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference. China, ACM TURC '19. New York, USA : Association for Computing Machinery. 2019. Article 134. P. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3321408.3326662>
6. Liu Y., Wang C.-q., Zhou Y.-j. Camouflaged People Detection Based on a Semi-Supervised Search Identification Network // Defence Technology. 2023. Vol. 21. P. 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.09.004>
7. MAGNet: A Camouflaged Object Detection Network Simulating the Observation Effect of a Magnifier / Jiang X., Cai W., & Zhang Z. et al. // Entropy. 2022. Vol. 24, № 12. Article ID 1804. <https://doi.org/10.3390/e24121804>
8. Van der Burg E., Hogervorst M. A., Toet A. Measuring the Dynamics of Camouflage in Natural Scenes Using Convolutional Neural Networks // Target and Background Signatures VIII. 78

2022. Vol. 12270. Article ID 1227003. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2636107>

9. Zhang W., Zhou Q., Li R., Niu F. Research on Camouflaged Human Target Detection Based on Deep Learning // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. Article ID 7703444. P. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/7703444>

10. Fan D.-P., Ji G.-P., Cheng M.-M., Shao L. Concealed Object Detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2022. Vol. 44, № 10. P. 6024–6042. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3085766>

11. Anabranh Network for Camouflaged Object Segmentation / Le T.-N., Nguyen T. V., & Nie Z. et al. // *Computer Vision and Image Understanding*. 2019. Vol. 184. P. 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2019.04.006>

12. Jadon S. A Survey of Loss Functions for Semantic Segmentation // *IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*. Via del Mar, Chile, 2020. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/CIBCB48159.2020.9277638>

Стаття надійшла до редакції 01.05.2024.

REFERENCES

1. Kaur, D., & Kaur, Y. (2014). Various Image Segmentation Techniques: A Review. *IJCSMC*, Vol. 3 (5), 809-814.

2. Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3431–3440). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4038>

3. Berezina, S. I., Hordiienko, Yu. O., & Solonets, O. I. (2019). Analiz shliakhiv vyrishennia problemy sehmentatsii vysokoteksturovanykh ob'ektiv [Analysis of Ways to Solve the Problem of Segmentation of Highly Textured Objects]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, Iss. 17, 27–40. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2019.17.03>

4. Zheng, Y., Zhang, X., Wang, F., Cao, T., Sun, M., & Wang, X. (2019). Detection of people with camouflage pattern via dense deconvolution network. *IEEE Signal Processing Letters*, 26 (1) (pp. 29-33). <https://doi.org/10.1109/LSP.2018.2825959>

5. Fang, Z., Zhang, X., Deng, X., Cao, T., & Zheng, C. (2019). Camouflage People Detection via Strong Semantic Dilation Network. In *Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference (ACM TURC '19, China)*, Article 134 (pp. 1–7). New York, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3321408.3326662>

6. Liu, Y., Wang, C.-q., & Zhou, Y.-j. (2023). Camouflaged People Detection Based on a Semi-Supervised Search Identification Network. *Defence Technology*, Vol. 21, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.09.004>

7. Jiang, X., Cai, W., Zhang, Z., Jiang, B., Yang, Z., & Wang, X. (2022). MAGNet: A Camouflaged Object Detection Network Simulating the Observation Effect of a Magnifier. *Entropy*, 24 (12), Article ID 1804. <https://doi.org/10.3390/e24121804>

8. Van der Burg, E., Hogervorst, M. A., & Toet, A. (2022). Measuring the Dynamics of Camouflage in Natural Scenes Using Convolutional Neural Networks. *Target and Background Signatures VIII*, Vol. 12270, Article ID 1227003. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2636107>

9. Zhang, W., Zhou, Q., Li, R., & Niu, F. (2022). Research on Camouflaged Human Target Detection Based on Deep Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Article ID 7703444, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/7703444>
10. Fan, D.-P., Ji, G.-P., Cheng, M.-M., & Shao, L. (2022). Concealed Object Detection. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 44 (10), 6024–6042. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3085766>
11. Le, T.-N., Nguyen, T. V., Nie, Z., Tran, M.-T., & Sugimoto, A. (2019). Anabranh Network for Camouflaged Object Segmentation. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 184, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2019.04.006>
12. Jadon, S. (2020). A Survey of Loss Functions for Semantic Segmentation. In *IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*. (pp. 1–7). Via del Mar, Chile. <https://doi.org/10.1109/CIBCB48159.2020.9277638>

S. A. Tsybulia, V. Yu. Tymchuk, N. S. Tsybulia

A NEURAL NETWORK MODEL FOR DETECTING CAMOUFLAGED OBJECTS

This article discusses the use of computer vision to detect camouflaged objects that are hidden by natural masks and camouflage devices. Such objects are usually varied in size, fuzzy, and visually merge with the terrain, which makes them difficult to detect.

The authors analyze the models of machine learning algorithms used to segment and detect objects in images. Taking into account the analysis, to solve the problem of detecting camouflaged objects, the paper proposes a neural network model with an encoder-decoder architecture. Its features are: the use of an additional layer at the input, which is fed with an image processed by a Sobel filter, which allows to enhance the detection of object edges; the use of the convolutional stretching algorithm in the encoder blocks, in parallel with the main part of the key features determination, leads to a decrease in the dependence of detection on the size of objects; the use of a mechanism in the decoder blocks to focus on important parts of the image increases the probability of correct classification of image areas in cases of uncertainty of the model regarding their. Experiments by modeling, with different hyperparameters of the neural network, allowed us to determine that binary cross-entropy is most suitable as a loss function for solving the problem of detecting objects with strong background noise, and the choice of Parametric Rectified Linear Unit as an activation function allows to improve the quality of object segmentation. We also consider the use of various metrics to evaluate the effectiveness of the created model.

Testing on datasets with real cloaked objects allowed us to identify problematic issues affecting the segmentation process in general and the accuracy of detecting cloaked objects in particular, the solution of which can improve the efficiency of neural networks in object detection. The results of the research are proposed to be used in the creation of camouflage means to determine their effectiveness, as well as to search for camouflaged enemy objects in the course of intelligence processing.

Keywords: *computer vision; machine learning; convolutional neural network; terrain image; dataset; camouflage pattern; camouflage means; camouflaged object; masking; concealment; object detection; segmentation; loss function; metric.*

О. Р. Рихальський, Н. М. Карашук, Р. В. Нетребко

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ФОРМУВАННЯ ГАРМОНІЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ІОНОСФЕРІ

Частково якісно аналітичним методом досліджено вплив випромінювання високовольтних ліній електропередач на механізм формування гармонічного випромінювання в іоносфері на основі теорій електромагнітного поля, антен та розповсюдження електромагнітних хвиль в атмосфері. Це дозволило інтерпретувати частотні особливості спостережуваних спектрів, зареєстрованих штучними супутниками Землі. Вплив випромінювання високовольтних ліній електропередач стає суттєвим через зростаючий рівень виробництва та використання електричної енергії потужними споживачами електроенергії, які формують на частотах, пов'язаних із частотою електромереж і її численними гармоніками, техногенні сигнали, що викликають зміну параметрів плазми та електромагнітного поля в іоносфері. Високовольтні лінії електропередач розглянуто як антенну систему, яка складається з випромінювачів, еквівалентних горизонтальним елементарним електричним вібраторам, піднятим за допомогою опор над земною поверхнею. У першому наближенні Землю та атмосферу описано як сферично шарувате середовище, електричні параметри якого залежать тільки від висоти до гладкої сферичної поверхні. Аналітичним методом проведено розрахунок складових амплітуди напруженості електричного поля елементарного електричного вібратора в ближній зоні, який доводить дуже низьку потужність випромінювання. У дальній зоні розрахована потужність випромінювання становить 150,63 кВт за рахунок струму живлення 2,93 кА, оскільки електричний розмір такої антени дуже малий. Визначена амплітуда напруженості електричного поля в іоносфері з урахуванням ослаблення залежно від висоти шару змінюється в межах від 0,301 мВ/м до 6,01 мВ/м для висот від 100 км до 500 км. Отримані результати не суперечать раніше виміряним значенням.

Ключові слова: випромінювання електромереж; елементарний електричний вібратор; діаграма спрямованості; напруженість електричного поля; напруженість магнітного поля; іоносфера; випромінювання іоносфери.

Постановка проблеми в загальному вигляді. За допомогою супутникових досліджень у 80-х роках минулого століття був відкритий ефект відображення в іоносфері, і навіть у магнітосфері, гармонічного випромінювання електромереж (power line harmonic radiation (PLHR)) [1, 2]. Встановлено, що потужні споживачі електроенергії формують на частотах, пов'язаних із частотою електромереж і її численними гармоніками, техногенні сигнали, які викликають зміну параметрів плазми та електромагнітного поля (ЕМП) в іоносфері [1]. Цей вплив стає суттєвим через зростаючий рівень виробництва та використання електричної енергії. Створюється потік енергії від літосфери й атмосфери

© О. Р. Рихальський, Н. М. Карашук, Р. В. Нетребко, 2024

Землі та відбувається її передавання в напрямку земна поверхня – атмосфера – іоносфера – магнітосфера [1].

Одним із небезпечних наслідків PLHR-явища може бути підвищення висипання заряджених частинок із земних радіаційних поясів, що досить часто фіксується штучними супутниками Землі (ШСЗ) в разі одночасної реєстрації ЕМП і концентрації заряджених частинок [1]. Це явище повинно вивчатися для встановлення кількісних залежностей та можливих негативних наслідків, зумовлених подальшим збільшенням виробництва електроенергії. У той же час дослідження ефекту PLHR має самостійне фундаментальне значення як один із проявів взаємодії електромагнітного поля з частково іонізованою плазмою.

Зрозуміти механізм проникнення перших гармонік мережі також важливо, оскільки це відкриває можливість створення системи моніторингу локальних засобів виробництва та споживання електроенергії в глобальному масштабі, зокрема й прихованих [1–9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Випромінювання мультиплетних низькочастотних спектрів в іоносфері реєструється ШСЗ протягом багатьох років. Проте, незважаючи на численні спроби, пояснення ефекту PLHR немає [1]. Навіть про ділянку, де утворюються PLHR, ідуть суперечки: розглядаються гіпотези, що вони або створюються через нелінійні взаємодії в іоносфері, або ж генеруються на земній поверхні через спотворення форми струму в мережах.

В [1] обґрунтовано механізм формування низькочастотних гармонічних мультиплетів в іоносфері в рамках моделі взаємодії електронів із магнітним полем Землі та випромінюванням ліній електромереж із частотою 50-60 Гц, що дозволяє інтерпретувати частотні особливості спостережуваних спектрів, зареєстрованих штучними супутниками.

У повітряних лініях електропередач (ЛЕП) змінного струму поле спрямованої хвилі у вільному просторі, що оточує лінію, неекрановане, тому електромережі протяжністю сотні й тисячі кілометрів можна розглядати як антени значної потужності випромінювання. Основним фактором, що визначає пропускну здатність і дальність передавання повітряної лінії (ПЛ), є величина її лінійної напруги.

До відкритих ЛЕП належать: симетричні двопроводові лінії напругою 0,4 кВ; трипроводові лінії напругою 10 кВ; шестипроводові лінії для напруг 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ; дев'ятипроводові лінії для напруги 330 кВ (рис. 1а); дванадцятипроводові лінії для напруг 500 кВ, 750 кВ (рис. 1б), – які виконані з круглих проводів [10].

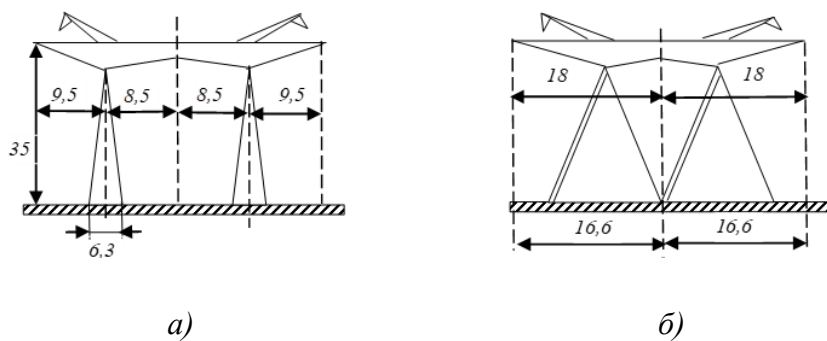


Рис. 1. Повітряні лінії ЛЕП змінного струму

Тому доцільно провести часткове якісне дослідження гіпотези, запропонованої в [1], про механізм формування гармонічного випромінювання в іоносфері, розглядаючи повітряні ЛЕП як антенну систему, яка складається з випромінювачів, еквівалентних горизонтальним елементарним електричним вібраторам (ЕЕВ), що підняті за допомогою опор над поверхнею Землі.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є часткове якісне дослідження аналітичним методом впливу випромінювання високовольтних ЛЕП на механізм формування гармонічного випромінювання в іоносфері, запропонований в [1] на основі теорій ЕМП, антен та розповсюдження електромагнітних хвиль (ЕМХ) в атмосфері.

Виклад основного матеріалу

Аналітичний метод дослідження. Розглянемо ЕМП, яке випромінює повітряна ЛЕП змінного струму, аналізуючи поля випромінювання в ближній та дальній зонах ЕЕВ.

В [11–13] із застосуванням векторного потенціалу, рівнянь Максвелла та граничних умов отримано вирази для складових ЕМП у ближній зоні для ЕЕВ у сферичній системі координат.

Згідно з [11–13] амплітуду першої складової напруженості електричного поля за координатою θ (складова поля випромінювання в ближній зоні) можна записати так:

$$E_{\theta} = Z_c \frac{I l}{2 \cdot \lambda \cdot r^3}, \quad (1)$$

де $Z_c = \sqrt{\mu_a / \varepsilon_a}$ – характеристичний опір середовища для вільного простору 377 Ом;

l – довжина ЕЕВ, м;

ε_a – абсолютна діелектрична проникність середовища, Ф/м;

μ_a – абсолютна магнітна проникність середовища, Гн/м;

r – відстань від випромінювача до точки спостереження, м (км);

I – значення змінного струму вздовж ЕЕВ, А;

λ – довжина хвилі, м.

Відповідно до [11–13] амплітуду другої складової напруженості електричного поля за координатою θ знаходимо за виразом

$$E'_{\theta} = E_{\theta} \cdot k_1, \quad k_1 = \frac{\lambda}{2\pi \cdot r}. \quad (2)$$

Амплітуду третьої складової напруженості електричного поля за координатою θ (квазістаціонарна складова у ближній зоні) можна визначити в такий спосіб [11–13]:

$$E''_{\theta} = E'_{\theta} \cdot k_1. \quad (3)$$

Випромінювання ЕЕВ у дальній зоні має спрямовані властивості. Це пов'язано з неізотропністю випромінювача внаслідок векторного характеру лінійного струму, який збуджує вібратор. Відповідно до [13] для елементарного горизонтального вібратора в головних площинах нормовані діаграми спрямованості (ДС) визначають за виразами:

$$F^E(\theta) = |\cos \theta|, \quad F^H(\varphi) = 1. \quad (4)$$

Горизонтальний вібратор в екваторіальній площині не має спрямованих властивостей і створює горизонтально поляризовану хвилю. Для ідеально провідної поверхні за всіма кутами падіння хвилі на поверхню Землі ДС горизонтального вібратора має пелюстковий характер. Якщо земна поверхня є ідеальним діелектриком, то вона також має пелюстковий характер тільки з меншою глибиною провалів.

Потужність та опір випромінювання ЕЕВ залежать від електричних розмірів для вільного простору. Їх визначаємо за такими виразами [12, 13]:

$$P_{\Sigma} = \frac{1}{2} I^2 \left[80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \right], \quad R_{\Sigma} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2. \quad (5)$$

Для розрахунку напруженості електричного поля в дальній зоні в точці приймання користуються формулами для вільного простору, а вплив природного середовища враховують за допомогою комплексного множника впливу середовища (коефіцієнта ослаблення) [12, 13]. Він становить передатну функцію еквівалентного природному середовищу прохідного чотиріполюсника та характеризує зміну напруженості електричного поля в місці приймання порівняно з напруженістю електричного поля у вільному просторі. Його значення залежить від вибраної моделі середовища.

Вважатимемо поверхню Землі гладкою й однорідною з такими параметрами: відносною магнітною проникністю $\mu = 1$; комплексною відносною діелектричною проникністю $\hat{\epsilon} = \epsilon - j60\lambda\sigma$, де σ – еквівалентна провідність Землі, См/м. А атмосферу – однорідною, непоглинальною з такими параметрами: $\mu = 1$, $\epsilon = 1$, $\sigma = 0$.

Тоді амплітуду вектора напруженості електричного поля в напрямку максимального випромінювання антени без впливу множника ослаблення знаходимо за виразом [12]

$$E_0 = \frac{\sqrt{60P_{\Sigma}D}}{r}, \quad (6)$$

де D – коефіцієнт спрямованої дії випромінювача;

r – дальність до приймальної антени, м.

Нехай антена A_1 передавальна (проводова ЛЕП), антена A_2 приймальна (бортова антена ШСЗ), відстань між ними дорівнює r (висота орбіти ШСЗ). У подальшому параметри з індексом “1” належать до передавальної частини (ЕЕВ), із індексом “0” – до приймальної частини (ШСЗ) в іоносфері. Тоді потужність в приймальній антені без втрат дорівнює [12]

$$P_2 = P_{\Sigma 1} D_1 D_2 \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2}, \quad (7)$$

де $P_{\Sigma 1}$ – потужність випромінювання передавальної антени;

D_1 – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени;

D_2 – коефіцієнт спрямованої дії приймальної антени.

Характеристики антен, відстань між передавачем та приймачем, довжина хвилі можуть змінюватися на багато порядків. Тому величини у формулі (7) доцільно розглядати в логарифмічному масштабі в децибелах від опорного рівня [12]:

$$\begin{aligned} 10\lg P_{\Sigma 1} + 10\lg D_1 + 10\lg D_2 &= 10\lg P_2 + 20\lg(4\pi r) - 20\lg(\lambda), \\ P_{\Sigma 1}(\partial B, Bm) + D_1(\partial B) + D_2(\partial B) &= P_2(\partial B, Bm) + 20\lg(4\pi r(m)) - 20\lg(\lambda(m)). \end{aligned} \quad (8)$$

Основними втратами в радіолінії є ослаблення потужності в разі поширення радіохвиль у вільному просторі, зумовлені відношенням потужності сигналу на вході приймальної антени до потужності випромінювання передавальної антени за неспрямованих передавальної та приймальної антен ($D_1 = D_2 = 1$). Знайдемо основні втрати з виразу (7) [12]:

$$\frac{P_2}{P_{\Sigma 1}} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \text{ або ж в децибелах } \Gamma_0 = 10\lg \frac{P_2}{P_{\Sigma 1}} = -20(\lg(4\pi r) - \lg \lambda). \quad (9)$$

У наведених вище формулах замість коефіцієнта спрямованої дії використовують коефіцієнт підсилення антени G . Формули для розрахунку напруженості поля в місці розташування приймальної антени та потужності на її виході $P_{2вих}$ на узгодженому навантаженні в разі заданих коефіцієнтів підсилення антен G_1, G_2 та потужності на вході передавальної антени P_{1ex} такі [12]:

$$\begin{aligned} E(r) &= \frac{\sqrt{60P_{1ex}G_1}}{r} \cdot W, \quad P_{2вих} = P_{1ex}G_1G_2 \left(\frac{\lambda \cdot W}{4\pi r}\right)^2, \\ P_{1ex}(\partial B, Bm) + G_1(\partial B) + G_2(\partial B) &= \\ = P_{2вих}(\partial B, Bm) + 20\lg(4\pi r(m)) - 20\lg(\lambda(m)) - W(\partial B), \end{aligned} \quad (10)$$

де W – множник впливу середовища (коефіцієнт ослаблення) ЕМХ, який залежить від характеристик природного середовища.

У разі знаходження W для більшої висоти приймемо, що антени ідеально узгоджені й не мають втрат ($\eta_1 = 1, \eta_2 = 1, G_1 = D_1, G_2 = D_2, P_{1ex} = P_1, P_{2вих} = P_2$), де η_1, η_2 – коефіцієнти корисної дії відповідних антен.

Розрахунок модуля множника ослаблення можна проводити за наближеною формулою Шулейкіна – Ван дер Поля [12, 13]

$$|W| \approx \frac{2 + 0,3\rho}{2 + \rho + 0,6\rho}, \quad (11)$$

де ρ – чисельна відстань, яка визначається за виразом

$$\rho = \frac{\pi \cdot r_2}{\lambda \cdot |\dot{\epsilon}|} = \frac{\pi \cdot r_2}{\lambda \sqrt{\epsilon_2^2 + (60\sigma_2\lambda)^2}}. \quad (12)$$

За невеликих значень чисельної відстані ρ , множник ослаблення несуттєво змінюється відповідно до значень відстані, довжини хвилі й електричних властивостей середовища.

У першому наближенні Землю та навколоземний простір можна описати як сферично шарувате середовище, електричні параметри якого змінюються з висотою. Електродинамічна задача для цієї моделі полягає в розрахунку ЕМП у разі поширення радіохвиль у шарувато неоднорідному середовищі, електричні параметри якого залежать тільки від однієї координати, а саме висоти від гладкої сферичної земної поверхні.

Випромінювання PLHR відповідає діапазонам частот електромагнітних коливань дуже низьким частотам, інфранизьким частотам та наднизьким частотам [14], тому для розрахунків множника ослаблення цих хвиль у тропосфері та стратосфері ($r < 60$ км) згідно з [12] приймемо значення відносної діелектричної проникності $\epsilon_2 = 1,00058$ та питомої провідності $\sigma_2 = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ СМ/М.

Загасання радіохвиль у тропосфері зумовлено переважно гідрометеорами у вигляді туману або дощу. Радіохвилі селективно поглинаються на частотах власних коливань молекул водяної пари та кисню [12, 13].

За відомими параметрами шарів іоносфери діелектричну проникність та провідність для кожного шару можна знайти за такими виразами [12]:

$$\epsilon_2 = 1 - 3,19 \cdot 10^9 \frac{N_e (\text{ел/см}^3)}{(\omega^2 + \nu^2)}, \quad \sigma_2 = 2,82 \cdot 10^{-2} \frac{N_e (\text{ел/см}^3)}{(\omega^2 + \nu^2)} \nu \quad (\text{СМ/М}), \quad (13)$$

де N_e – концентрація електронів у шарах іоносфери, ел/м³;

$\omega = 2\pi f$ – колова частота ЕМХ рад/с;

f – лінійна частота ЕМХ, Гц;

ν – кількість співударів електронів з важкими частинками, с⁻¹.

Аналіз отриманих даних. Результати аналітичного методу дослідження. На основі викладеного матеріалу проведемо такі розрахунки:

1) складових амплітуди напруженості електричного поля у вільному просторі на відстані $r = 100 \dots 600$ км у ближній зоні, коли ЕЕВ довжиною $l = 40$ км збуджується змінним струмом із частотою $f = 50$ Гц, амплітудою $I = 2,93 \cdot 10^3$ А для кута $\theta = 0^\circ$ відповідно до виразів (1)–(3);

2) потужності та опору випромінювання ЕЕВ у повітрі за таких умов збудження згідно з виразом (5); амплітуди напруженості електричного поля в напрямку максимального випромінювання без урахування множника ослаблення за виразом (6);

3) основних втрат у разі поширення радіохвиль у вільному просторі в радіолінії протяжністю $r = 100 \dots 600$ км, що відповідає орбітам ШСЗ за виразом (9); потужності, яка надходить у приймальну антену високочутливих датчиків на борту ШСЗ, за потужності

випромінювання передавальної антени ЕЕВ довжиною $l = 40$ км, у разі незмінних умов збудження та неспрямованих передавальної та приймальної антен ($D_1 = D_2 = 1$) за (8);

4) відстань та коефіцієнт ослаблення в шарі атмосфери ($r \approx 60$ км), яка включає тропосферу та стратосферу, радіохвиль із частотою $f = 50$ Гц за виразами (11) і (12), враховуючи параметри шару [12]: діелектричну проникність $\varepsilon_2 = 1,00058$ та питому провідність $\sigma_2 = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ См/м;

5) амплітуд напруженостей електричного поля в місці розташування приймальної антени $E(r)$ за виразом (10), у разі висот орбіт ШСЗ ($r = 100 \dots 600$ км), коефіцієнта підсилення передавальної антени $G = 1$, потужності випромінювання ЕЕВ у вільному просторі $P_{\text{вх}} = 150630$ Вт з урахуванням коефіцієнтів ослаблення шарів іоносфери $|W|$.

Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків параметрів ЛЕП як ЕЕВ

№ з/п	Параметр	Результати розрахунків
1	$l = 40$ км, $f = 50$ Гц, $I = 2,93 \cdot 10^3$ А, $\theta = 0^\circ$, $r = 100 \dots 600$ км	
	E_θ , В/м	36, 82...6, 137 для 100...600 км
	E'_θ , В/м	351, 63...9, 76 для 100...600 км
	E''_θ , В/м	3358, 07...15, 52 для 100...600 км
2	$l = 40$ км, $f = 50$ Гц, $I = 2,93 \cdot 10^3$ А, $D = 1$	
	R_Σ , Ом	0,035
	P_Σ , Вт	150630
	E_0 , В/м	0, 03...0,005 для 100...600 км
3	$l = 40$ км, $f = 50$ Гц, $I = 2,93 \cdot 10^3$ А, $r = 100 \dots 600$ км, $D_1 = D_2 = 1$	
	Γ_0 , дБ	13,58...-1,98
	P_2 , дБВт	84,8...69,79
4	$l = 60$ км, $f = 50$ Гц, $\varepsilon_2 = 1,00058$, $\sigma_2 = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ См/м	
	ρ	$8,73 \cdot 10^{-7} \dots 8,73 \cdot 10^{-8}$
	$ W_{\text{тр}} $	0,9999994...0,9999993
5	$G_1 = 1$, $r = 100 \dots 600$ км, $P_{\text{вх}} = 150630$ Вт	
	$E_{\text{день}}(100 \text{ км})$, В/м	$3,01 \cdot 10^{-2}$
	$E_{\text{ніч}}(100 \text{ км})$, В/м	$3,01 \cdot 10^{-2}$
	$E_{\text{день}}(200 \text{ км})$, В/м <i>зима</i>	$1,5 \cdot 10^{-2}$
	$E_{\text{ніч}}(330 \text{ км})$, В/м <i>зима</i>	$9,1 \cdot 10^{-3}$
	$E_{\text{день}}(400 \text{ км})$, В/м <i>літо</i>	$7,5 \cdot 10^{-3}$
	$E_{\text{день}}(500 \text{ км})$, В/м <i>літо</i>	$6,01 \cdot 10^{-3}$

Результати розрахунків чисельної відстані та множника ослаблення шару іоносфери $|W|$ для радіохвиль з частотою $f = 50$ Гц проведені за виразами (11)–(13), наведено в табл. 2.

Отже, у ближній зоні в разі переходу від електричної до магнітної енергії значна частина електричної повертається до джерела. Проте обмін енергією поля і джерела відбувається не повністю, певна її частина випромінюється.

Квазістаціонарна складова напруженості електричного поля в ближній зоні майже в 9,6–1,6 раза більше складової поля випромінювання. Тому потужність, що визначається полем ближньої зони, є лише реактивною. Вона обумовлює реактивний опір ЕЕВ.

Таблиця 2

Чисельна відстань та коефіцієнт ослаблення шарів іоносфери $|W|$ для радіохвиль із частотою $f = 50$ Гц

Шар	Добова поява шару	r_2 , км	ε_2	σ_2 , См/м	ρ	$ W $
D	Вдень	20	0,68	$2,82 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$\approx 0,9999993$
E	Вдень	15...20	$-4,8 \cdot 10^4$	$4,23 \cdot 10^{-2}$	$6,88 \cdot 10^{-10}$	$\approx 0,999999995$
E	Вночі	15...20	$-1,59 \cdot 10^3$	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$6,59 \cdot 10^{-6}$	$\approx 0,9999957$
F	Взимку вдень	120...140	$-6,37 \cdot 10^9$	5,63	$1,88 \cdot 10^{-11}$	$\approx 0,999999998$
F	Влітку вночі	200...230	$-7,97 \cdot 10^6$	0,7	$6,81 \cdot 10^{-10}$	$\approx 0,999999995$
F_1	Влітку вдень	100...130	$-7,97 \cdot 10^3$	1,13	$5,15 \cdot 10^{-10}$	$\approx 0,999999997$
F_2	Влітку вдень	100...200	$-2,87 \cdot 10^7$	2,54	$1,72 \cdot 10^{-10}$	$\approx 0,999999998$

Електричний розмір ЕЕВ у цьому разі малий, оскільки $l \ll \lambda$, тому він суттєвого впливу на потужність та опір випромінювання не має. Проте потужність випромінювання висока за рахунок струму живлення.

Амплітуда напруженості електричного поля у вільному просторі в дальній зоні обернено пропорційна відстані та збільшується зі зростанням потужності випромінювання.

Основними втратами в радіолінії є ослаблення потужності під час поширення радіохвиль в атмосфері. Вони залежать від довжини хвилі та протяжності радіолінії. Ослаблення радіохвиль із частотою 50 Гц у тропосфері та стратосфері незначне.

На поширення радіохвиль істотно впливає ділянка іоносфери. Найбільше ослаблення радіохвиль із частотою 50 Гц відбувається вдень у шарі D та вночі в шарі E .

Розраховані значення напруженостей електричного поля на різних висотах ШСЗ, наведені в табл. 1, не суперечать вимірним значенням, поданим у роботі [8].

Висновки. У результаті проведеного аналітичним методом часткового якісного дослідження впливу випромінювання високовольтних ліній електропередач на механізм формування гармонічного випромінювання в іоносфері, запропонований в [1], можна зробити такі висновки.

1. Чим більший коефіцієнт підсилення передавальної антени на певних частотах гармонічного випромінювання електромереж – PLHR, тим більше значення потужності на вході та на виході приймальної антени на цих частотах.

2. В [1] зазначено, що необхідна для реєстрації мультиплетів інтенсивність ліній PLHR досягається, зокрема, за рахунок одного із трьох факторів – значної об'ємної густини енергії поля електромереж, зміну якої було досліджено аналітичним методом (розрахунок амплітуд напруженостей електричного поля в іоносфері на різних висотах).

3. Достовірність отриманих даних в аналітичному методі підтверджується збігом основних виразів за одиницями вимірювання.

4. Перспективи подальших досліджень полягають у числовому моделюванні зміни коефіцієнта підсилення в смузі частот із кроком 100 Гц за умов дослідження [4] та якісного порівняння результатів зі спектром з інтервалом між сателітами 100 Гц, який отримано на ШСЗ “Деметер” [4].

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Ваврух М., Корепанов В. Механізм формування ліній гармонічного випромінювання в іоносфері // Вісник Львівського ун-ту. Серія фізична. 2013. Вип. 48. С. 180–197. ISSN 1024-588X.
2. Випромінювання ліній електропередач у навколосемному просторі / Д. Ф. Дудкін, В. О. Проненко, В. Є. Корепанов, С. І. Клімов // Космічна наука і технологія. 2014. № 5 (90). С. 27–34. <http://dx.doi.org/10.15407/knit2014.05.027>
3. Comparison of Magnetospheric Line Radiation and Power Line Harmonic Radiation: A Systematic Survey Using the DEMETER Spacecraft / F. Nemeц, O. Santolic, M. Parrot, J. Berthelier // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. Article ID A04301. <http://dx.doi.org/10.1029/2006ja012134>
4. Power Line Harmonic Radiation Observed by Satellite: Properties and Propagation Through the Ionosphere / F. Nemeц, O. Santolic, M. Parrot, J. Bortnik // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. Article ID A08317. <http://dx.doi.org/10.1029/2008ja013184>
5. Nemeц F., Parrot M., Santolik O. Influence of Power Line Harmonic Radiation on the VLF Wave Activity in the Upper Ionosphere: Is it Capable to Trigger New Emissions // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115. Article ID A11301. <https://doi.org/10.1029/2010JA015718>
6. Barbe K., Pintelon R., Schoukens J. Welch Method Revisited: Nonparametric Power Spectrum Estimation via Circular Overlap // IEEE Trans. Signal Process. 2010. № 58. P. 553–565. <http://dx.doi.org/10.1109/tsp.2009.2031724>
7. Zelenyj L. M., Gurevich A. V., Klimov S. I. Academic Microsatellite CHIBIS-M // Space Research. 2014. Vol. 1, Iss. 1. P. 52.

8. Simoes F., Pfaff R., Freudenreich H. Satellite Observations of Schumann Resonances in the Earth's Ionosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2011. № 38. Article ID L22101. <https://doi.org/10.1029/2011GL049668>
9. Francisco C. M. Connecting Renewable Power Plant to the Brazilian Transmission Power System // *The institute of Brazilian business and public management issues. The Minerva program.* Washington, DC (USA). 2012. 37 p.
10. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем / Денисевич К. Б. (Ч. 2), Ландау Ю. О. (Вступ, ч. 1, розділ 1, післямова), Нейман В. О. (Ч. 2), Сулейманов В. М. (Ч. 2). URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4> (дата звернення 20.04.2024).
11. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 1. Основи теорії електромагнітного поля : підруч. для студентів ВНЗ / В. М. Шокало, В. І. Правда, В. А. Усін та ін. Харків : ХНУРЕ; Колегіум, 2009. 286 с.
12. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль : підруч. для студентів ВНЗ / В. М. Шокало, В. І. Правда, В. А. Усін та ін. Харків : ХНУРЕ; Колегіум, 2010. 435 с.
13. Пілінський В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль : навч. посіб. для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації». Київ : Нац. техніч. ун-т України «КПІ», 2014. 336 с.
14. Кривуци В. Г. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу : навч. посіб. Київ : ДУІКТ, 2012. 596 с.

Стаття надійшла до редакції 24.06.2024.

REFERENCES

1. Vavrukh, M., & Korepanov, V. (2013). Mekhanizm formuvannia linii harmonichnoho vyprominiuvannia v ionosferi [The Mechanism of Formation of Lines of Harmonic Radiation in the Ionosphere]. *Visnyk Lvivskoho un-tu. Seriya fizychna [Bulletin of Lviv University. The series is physical]*, Iss. 48, 180–197. ISSN 1024-588X. Lviv [in Ukrainian].
2. Dudkin, D. F., Pronenko, V. O., Korepanov, V. E., & Klimov, S. I. (2014). Vyprominiuvannia linii elektropredach u navkolozemnomu prostori [Power Line Radiation in the Near-Earth Space]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia [Space science and technology]*, № 5 (90), 27–34. <http://dx.doi.org/10.15407/knit2014.05.027> [in Ukrainian].
3. Nemes, F., Santolic, O., Parrot, M., & Berthelier, J. (2007). Comparison of Magnetospheric Line Radiation and Power Line Harmonic Radiation: A Systematic Survey Using the DEMETER Spacecraft. *J. Geophys. Res.*, Vol. 112, Article ID A04301. <http://dx.doi.org/10.1029/2006ja012134>
4. Nemes, F., Santolic, O., Parrot, M., & Bortnik, J. (2008). Power Line Harmonic Radiation Observed by Satellite: Properties and Propagation Through the Ionosphere. *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, Article ID A08317. <http://dx.doi.org/10.1029/2008ja013184>
5. Nemes, F., Parrot, M., & Santolik, O. (2010). Influence of Power Line Harmonic Radiation on the VLF Wave Activity in the Upper Ionosphere: Is it Capable to Trigger New Emissions. *J. Geophys. Res.*, Vol. 115, Article ID A11301. <https://doi.org/10.1029/2010JA015718>

6. Barbe, K., Pintelon, R., & Schoukens, J. (2010). Welch Method Revisited: Nonparametric Power Spectrum Estimation via Circular Overlap. *IEEE Trans. Signal Process.*, № 58, 553–565. <http://dx.doi.org/10.1109/tsp.2009.2031724>
7. Zelenyj, L. M., Gurevich, A. V., & Klimov, S. I. (2014). Academic Microsatellite CHIBIS-M. *Space Research, Vol. 1, Iss. 1*, 52.
8. Simoes, F., Pfaff, R., & Freudenreich, H. (2011). Satellite Observations of Schumann Resonances in the Earth's Ionosphere // *Geophys. Res. Lett.*, № 38. Article ID L22101. <https://doi.org/10.1029/2011GL049668>
9. Francisco, C. M. (2012). Connecting Renewable Power Plant to the Brazilian Transmission Power System. *The institute of Brazilian business and public management issues*. The Minerva program. Washington, DC (USA).
10. Denysevych, K. B., Landau, Yu. O., Neiman, V. O., & Suleimanov, V. M. (n.d.). *Rozvytok atomnoi enerhetyky ta ob'iednanykh enerhosystem [Development of Nuclear Energy and Combined Energy Systems]*. Retrived from <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4> [in Ukrainian].
11. Shokalo, V. M., Pravda, V. I., Usin, V. A., Vuntesmeri, V. S., & Hretskykh, D. V. (2009). *Elektrodynamika ta poshyrennia radiokhvyl. Ch. 1. Osnovy teorii elektromahnitnoho polia : pidruchnyk dlia studentiv VNZ [Electrodynamics and Propagation of Radio Waves. Part 1. Fundamentals of Electromagnetic Field Theory: Textbook for University Students]*. Kharkiv [in Ukrainian].
12. Shokalo, V. M., Pravda, V. I., Usin, V. A., Vuntesmeri, V. S., & Hretskykh, D. V. (2010). *Elektrodynamika ta poshyrennia radiokhvyl. Ch. 2. Vyprominiuvannia ta poshyrennia elektromahnitnykh khvyl: pidruchnyk dlia studentiv VNZ [Electrodynamics and Propagation of Radio Waves. Part 2. Radiation and Propagation of Electromagnetic Waves: Textbook for University Students]*. Kharkiv [in Ukrainian].
13. Pilinskyi, V. V. (2014). *Tekhnichna elektrodynamika ta poshyrennia radiokhvyl : navch. posib. dlia studentiv napriamu pidhotovky 6.050903 «Telekomunikatsii» [Technical Electrodynamics and Propagation of Radio Waves: Teaching. Manual for Students of the field of training 6.050903 Telecommunications]*. Kyiv [in Ukrainian].
14. Kryvutsy, V. H. (2012). *Teoriia i praktyka upravlinnia vykorystanniam radiochastotnoho resursu : navch. posib [Theory and Practice of Managing the Use of Radio Frequency Resources. Education Manual]*. Kyiv [in Ukrainian].

O. R. Ryhalsky, N. M. Karashchuk, R. V. Netrebko

ANALYTICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE RADIATION OF HIGH-VOLTAGE POWER LINES ON THE FORMATION OF HARMONIC RADIATION IN THE IONOSPHERE

The influence of radiation from high-voltage power lines on the mechanism of harmonic radiation formation in the ionosphere is studied partially and qualitatively by analytical method on the basis of theories of the electromagnetic field, antennas, and propagation of electromagnetic waves in the atmosphere. This made it possible to interpret the frequency

features of the observed spectra registered by the Earth's artificial satellites. The impact of radiation from high-voltage power lines is becoming significant due to the growing level of electricity production and use by powerful electricity consumers, which generate man-made signals at frequencies related to the frequency of the power grid and its numerous harmonics, causing changes in the parameters of the plasma and electromagnetic field in the ionosphere. High-voltage power lines are considered as an antenna system consisting of radiators equivalent to horizontal elementary electric vibrators raised by means of supports above the earth's surface. In the first approximation, the Earth and the atmosphere are described as a spherically layered medium whose electrical parameters depend only on the height to a smooth spherical surface. The components of the electric field intensity amplitude of an elementary electric vibrator in the near-field have been calculated by the analytical method, which proves a very low radiation power. In the far zone, the calculated radiation power is 150.63 kW due to the supply current of 2.93 kA, since the electrical size of such antenna is very small. The determined amplitude of the electric field strength in the ionosphere, taking into account the attenuation depending on the height of the layer, varies from 0.301 mV/m to 6.01 mV/m for altitudes from 100 km to 500 km. The obtained results do not contradict previously measured values.

Keywords: *radiation of electric networks, elementary electric vibrator, directional diagram, electric field strength, magnetic field strength, ionosphere, ionosphere radiation.*

А. В. Тристан, В. В. Ларін, В. П. Гмиря, С. В. Стріха, М. М. Костащук,
П. М. Піонтківський

ФОРСАЙТ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПЛАНУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОБОРОННО-ПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Для інноваційного розвитку підприємств використовуються різні методи та підходи, серед яких форсайт зарекомендував себе як більш ефективний. Це метод довгострокового прогнозування, спосіб побудови виваженого, узгодженого та відповідального образу майбутнього, інструмент передбачення явищ соціального, технічного та ментального характеру. Форсайт – процес із відбору нових напрямів, під час якого встановлюються зв'язки між елементами, шляхом об'єднання різних думок суб'єктів національної інноваційної системи. За допомогою форсайта розробляють довгострокові стратегії розвитку економіки, науки, технологій, спрямовані на збільшення конкурентоспроможності та максимальний ефект в удосконаленні оборонно-промислового комплексу. Відмінність форсайта від відомих інструментів планування в тому, що його мета полягає не лише в підготовці аналітичного прогнозу найпроблемніших напрямів розвитку підприємств оборонно-промислового комплексу, а й у прагненні об'єднати зусилля учасників, зайнятих у процесі змін, створити для них умови на випередження подій. В основі форсайта лежить технологія роботи великої кількості експертів, які використовують безпосередньо свої погляди, знання та припущення. Експертами можуть бути наукові спільноти, наукові та науково-педагогічні працівники освітніх закладів, представники влади та громадських організацій, великі підприємства, комунальні установи тощо.

Застосування форсайта в прогнозуванні інноваційної діяльності в оборонно-промисловому комплексі дозволить використати найкращі світові знання та досвід управління й розвитку на всіх рівнях, а також винести корисні уроки з чужих помилок, віднайти нові шляхи розвитку в єдиному потоці з міжнародним співтовариством, виявити ризики та конкурентні переваги.

Ключові слова: форсайт; оборонно-промисловий комплекс; SWOT-аналіз; держава; війна; інноваційний інструмент.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сучасний стан економічного розвитку характеризується прискореними темпами науково-технічного прогресу та інтелектуалізацією основних факторів виробництва.

Іntenсивне проведення досліджень і розробка на їхній основі новітніх технологій перетворюються на один із найважливіших чинників господарського зростання, що визначає добробут й економічну незалежність України, її національний статус, виживання у війні. Інтелектуальні ресурси спільно з новітніми технологіями зумовлюють появу промислових підприємств нового типу, орієнтованих на створення інновацій

© А. В. Тристан, В. В. Ларін, В. П. Гмиря, С. В. Стріха, М. М. Костащук, П. М. Піонтківський, 2024

загальносвітового застосування, що забезпечують лідерство за багатьма наукоємними напрямками.

Оборонно-промисловий комплекс (ОПК) України, як базова комплексна галузь національної економіки, характеризується значним різноманіттям виробництв і видів технологічного обладнання. Інноваційна діяльність підприємств ОПК є вирішальним фактором їх стабільного розвитку.

Але, на жаль, останніми роками інноваційна активність у національній економіці залишається на вкрай низькому рівні. Це зумовлено, зокрема, недосконалістю інформаційно-аналітичного забезпечення; низькою ефективністю діяльності із захисту об'єктів інтелектуальної власності; застарілою матеріально-технічною і виробничою базою підприємств ОПК; прогалинами в системі підготовки наукових кадрів; старінням фахівців, які є носіями ключових технологій; нестачею висококваліфікованих працівників.

Ці обставини є основними причинами того, що головна проблема ОПК – це зниження можливості забезпечення національної безпеки й обороноздатності країни, технічного рівня, якості та конкурентоспроможності військової (цивільної) продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день глобальне протистояння стає все більш інтенсивним, оскільки провідні держави активно інвестують у розвиток ОПК. Цей процес включає в себе створення нових систем озброєння, військової техніки та спорядження, що використовують штучний інтелект, наприклад, лазерні, гіперзвукові та роботизовані засоби. Крім того, компанії у сфері оборонної промисловості все більше диверсифікують свою діяльність, зосереджуючись як на виробництві військової техніки, так і на цивільній продукції. Однак в умовах загостреного геополітичного конфлікту співіснування держав може постати перед викликами щодо забезпечення національної безпеки та розвитку ОПК. Україна – не виняток, і їй необхідно звернути увагу на ці аспекти для зміцнення своєї обороноздатності.

Поняття “форсайт” використовували Згуровський М. та Панкратова Н., які досліджували основні проблеми стратегічного планування й прийняття рішень на майбутнє [1].

Єфремова Н., Марченко М., Ломовських Л. [2] пояснили роль і значущість форсайта в стратегічному управлінні регіональним розвитком в умовах глобалізації та цифрової трансформації економіки, а також розкрили способи сприяння регіональному форсайту. Обґрунтування важливості форсайта під час розробки цільових програм у сфері наукової та технічної політики, галузевих і відомчих стратегій розвитку входило в орбіту наукових досліджень Решетняк О. [3]. Проте, зважаючи на історію розвитку цієї технології, можна стверджувати, що вона ще недостатньо досліджена. Особливої уваги вимагає поглиблене вивчення сутності умов та інструментарію застосування методології форсайта, що сприятиме полегшенню функціонування підприємств ОПК щодо економії часу на вирішення питань розвитку інноваційним шляхом.

Використання технології форсайта в оборонній сфері може суттєво підвищити ефективність стратегічного планування та прийняття рішень. Аналіз майбутніх тенденцій і можливих загроз дозволяє уникнути небезпеки й адаптуватися до змін вчасно. Розробка проривних технологій та інноваційних підходів на основі форсайта може значно підвищити обороноздатність країни, забезпечити національну безпеку, тому важливо продовжувати впроваджувати цей метод дослідження майбутнього в оборонній галузі.

Формулювання завдання дослідження. Метою наукової статті є розробка форсайт-програми для дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК України та його трансформації для повного задоволення потреб сил безпеки й оборони в ході виконання завдань у поточних і прогнозованих умовах безпекового середовища, сприяння розвитку економіки держави.

Виклад основного матеріалу. Провідні світові держави борються за технологічне лідерство та підвищення ефективності своїх інноваційних систем. При цьому жодна з них, включно із США і Японією, не може сьогодні вести повномасштабні дослідження за всіма науковими напрямками, оскільки це вимагає надвитрат на обладнання та підготовку фахівців. У цих умовах уряди країн навчилися ефективно визначати пріоритети свого науково-технічного та інноваційного розвитку, зберігаючи лідируючі позиції в найперспективніших галузях і технологіях.

Загострення конкуренції призводить до скорочення життєвого циклу продукції. Це змушує керівництво підтримувати, розвивати конкурентні переваги насамперед за рахунок розроблення та виведення на ринки інноваційних товарів і послуг. Формуються спеціальні програми, що визначають пріоритетні галузі розвитку науки.

Нині західноєвропейські країни дотримуються селективної стратегії науково-технічного розвитку, визначаючи для себе пріоритетні наукові напрями інноваційного характеру, розробка яких дає змогу ефективно використовувати наявні фінансові й інтелектуальні ресурси і тим самим розширювати й зміцнювати свої позиції на світових ринках технологій в умовах глобалізації. Як показує досвід, пріоритетом користуються дослідження, які проводяться спільно з організаціями державного сектору (університети та національні науково-дослідні інститути й центри) і приватного або корпоративного капіталу (центри розвитку промислових фірм) на засадах співфінансування, а також роботи міждисциплінарного характеру.

Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку (UNIDO – United Nations Industrial Development Organization) визначає, що форсайт – це сценарне прогнозування соціально-економічного прогресу, у якому можливі варіанти розвитку економіки, суспільства та промисловості в 10–20-річній перспективі [4].

Форсайт (англ. foresight – бачення майбутнього) – метод, технологія, процес систематичних спроб зазирнути у віддалене майбутнє науки, технології, економіки та суспільства на основі масштабного опитування експертів для визначення галузей стратегічних досліджень і технологій, що, імовірно, зможуть принести найбільші економічні та соціальні вигоди.

Історія форсайта бере початок із планування військових стратегій і технологій, яке здійснювалося військовими дослідницькими центрами США, такими як Корпорація RAND, у 1940-х і 1950-х роках. Значну частину цього підходу розробили й уперше випробували практики в компаніях, серед яких слід виділити досвід сценарного планування для Royal Dutch Shell Group наприкінці 1960-х. Форсайт має відношення до процесів прогнозування і є частиною стратегічного мислення, призначеного для розкриття розширеного діапазону сприйняття доступних стратегічних варіантів.

Форсайт – це систематичні спроби оцінити довгострокові перспективи науки, технологій, економіки та суспільства, щоб визначити стратегічні напрями досліджень

і нові технології, здатні принести найбільші соціально-економічні вигоди (прибутки).

Ця технологія виходить із варіантів можливого майбутнього, які можуть настати в разі виконання певних умов: правильного визначення сценаріїв розвитку, досягнення консенсусу щодо вибору того чи іншого бажаного сценарію, вжитих заходів для його реалізації. Першими країнами, які використовували форсайт як інструмент розроблення політики розвитку, були Японія та США. Так, у 1970 році Агентство з науки та техніки (STA) США здійснило спробу довгострокового (на 30 років) прогнозування майбутнього науки та технологій. У цей же період у Японії застосували метод Делфі для прогнозування в науці та технологіях і повторювали його кожні п'ять років, що створило нову парадигму – технологічний форсайт. Після цього подібні дослідження, які в основному були зосереджені на науці та технологіях (S&T), розпочато наприкінці 1980-х років у Франції, Нідерландах, Німеччині, Великій Британії та в інших країнах Європейського Союзу. З 2000-х років форсайт-дослідження поширилися і в країнах, що розвиваються: в Угорщині та Чеській Республіці проводяться повномасштабні національні форсайти; у Словаччині, Естонії, Польщі, Румунії та Болгарії, на Мальті й Кіпрі – часткові щодо визначення пріоритетів нарощування потенціалу. У 2004 році до них приєдналася й Україна.

У нашій країні на національному рівні форсайтні дослідження стосувалися визначення наукових та технологічних пріоритетів і проводилися тричі: у 2004–2006 роках; 2008–2011 роках й у 2019 році. Протягом 2004–2006 років виконувався проєкт “Розроблення довго- і середньострокових прогнозів науково-технологічного та інноваційного розвитку”, за результатами якого визначено шість пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки. У 2008 році на виконання постанови Кабінету Міністрів України від 11 вересня 2007 року № 1118 [5] групою організацій (Українським інститутом науково-технічної експертизи та інформації як осередком, Одеським державним економічним університетом, Державним підприємством “ОРТ” Міністерства освіти та науки України, Харківським політехнічним інститутом, навчально-науковим комплексом Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут (КПІ) імені Ігоря Сікорського”) здійснено роботу з подальшого прогнозування тематичних пріоритетних напрямів наукової та середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності [6].

У 2019 році відповідно до наказу Міністерства освіти та науки від 19 квітня 2019 року № 538 здійснено форсайтні дослідження із визначення пріоритетних напрямів науково-технологічного розвитку України на 2021–2030 роки з урахування цілей сталого розвитку, адаптованих до умов країни. Однак спроби спрогнозувати напрями економічного або соціального розвитку на національному рівні в нашій державі не здійснювалися [7].

Уперше в межах дослідження Світового центру даних із геоінформатики та сталого розвитку, Інституту передових оборонних технологій та Інформаційно-аналітичного центру “КПІ імені Ігоря Сікорського” у 2021 році було виконано аналіз реального стану соціальної та економічної сфер України як фундаментальної складової національної безпеки й оборони. Було проаналізовано можливі безпекові загрози для держави на часовому горизонті до 2030 року, виконано комплекс робіт з форсайта, досліджено сукупності можливих сценаріїв майбутніх подій в Україні, які можуть бути покладені

в основу розробки стратегії захисту країни та її подальшого сталого розвитку. Крім того, проведено Делфі-дослідження необхідних головних кластерів майбутнього ОПК країни, визначено пріоритетність внеску кожного кластера в загальне зростання безпеки України [1].

Прогнозне забезпечення – це важливий елемент системи стратегічного управління інноваційним розвитком підприємств ОПК. Особливе місце в прогностичній діяльності та розробленні інноваційної стратегії займає практика визначення пріоритетів науково-технічного прогресу з використанням інструментарію форсайта. Дослідження перспектив у цій галузі здійснюється не тільки технологічно розвиненими країнами, а й тими, що розвиваються, як важлива технологія для формування національних і корпоративних стратегій та пріоритетів, виявлення нових можливостей і загроз, мобілізації ресурсів для реалізації скоординованих заходів для визначення нових можливостей і загроз, мобілізації ресурсів для реалізації скоординованих заходів.

Від початку повномасштабного вторгнення росії на територію України та переходу Збройних Сил України на інноваційний розвиток використання форсайт-технологій набуває більш актуального значення.

Технологія розроблення форсайт-програми для дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК має визначати етапи, послідовність проведення досліджень і, відповідно, черговість використання різних інструментів форсайта, завдання кожного етапу, окремого інструменту та взаємозв'язки між ними. Вона має ґрунтуватися на особливостях діяльності підприємств ОПК і виходити з можливостей та обмежень, закладених у кожному форсайт-інструменті [6]. Використання різних інструментів форсайта, організованих у єдину програму, дає змогу нівелювати обмеження, закладені в ньому, і дозволяє провести в такий спосіб комплексне дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК [8].

У технологію розроблення форсайт-програми необхідно включити такі етапи: аналітичний; дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК, що включає виявлення інновацій, які можуть з'явитися на ринку, оцінювання їхньої значущості та дослідження впливу геополітичних, економічних, ринкових, соціальних й інших факторів; формування науково-технічної та виробничо-технологічної платформ (рис. 1).

Завданням аналітичного етапу є формування інформаційної бази для досліджень та проведення аналізу сформованих трендів, проблем і можливостей із широкого кола соціальних, економічних, екологічних, а також наукових і технологічних проблем.

Завдання формування інформаційної бази розв'язується в блоці “Сканування і моніторинг”, що є найважливішою складовою форсайт-програми.

Якщо цей блок структурований відповідно до завдань форсайт-програми, а решта блоків інформаційно достатні, то в цьому разі інформація, зібрана під час проведення сканування і моніторингу, може бути використана на всіх етапах розроблення форсайт-програми. Інформаційну потребу слід виявляти, виходячи з вимог до інформаційного забезпечення на різних етапах форсайта, а як її джерела можна розглядати будь-які доступні ресурси.

Необхідно розділяти сканування і моніторинг. Якщо розроблення форсайт-програми не поставлено на регулярну основу, проводять сканування. Якщо ж це здійснюється з певною періодичністю, то доцільно проводити сканування і моніторинг. Для вивчення змін інформаційною базою слугують результати сканування, проте не всі вони відстежуються. Необхідне розроблення фільтрів для масиву зібраної інформації та виділення в такий спосіб показників, тенденцій і проблем, які доцільно відстежувати.

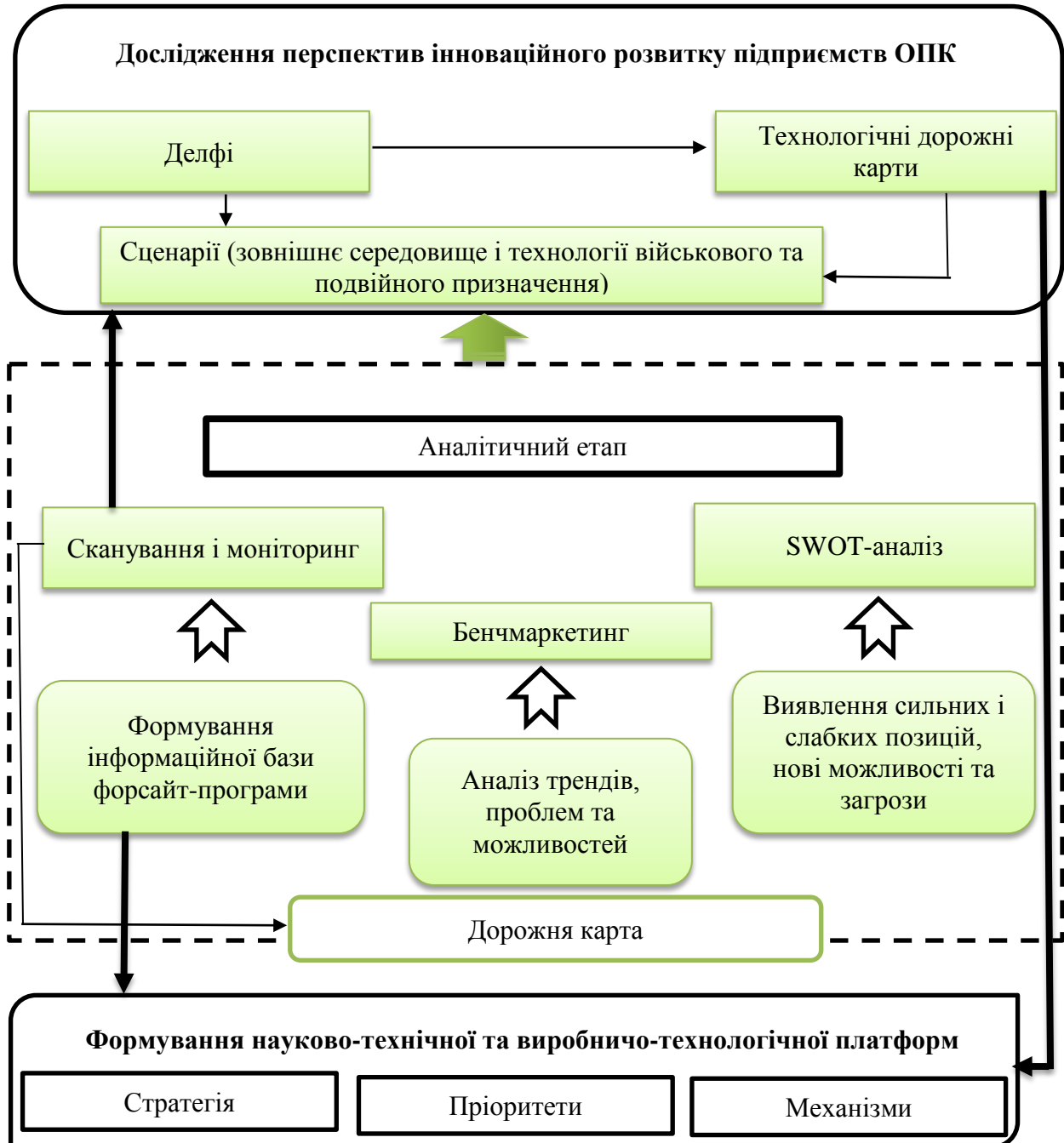


Рис. 1. Розробка форсайт-програми для дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК (розроблено авторами)

Перша проблема, яка має бути вирішена під час розроблення форсайт-програми, – це виділення основних блоків, за якими проводитиметься S&M, друга – це їх структурування.

Наука. Цей блок сканування має акумулювати інформацію про те, як розвиваються відповідні дослідження, хто є лідером у різних галузях наук, які використовуються механізми державної підтримки, який внесок приватного сектору. Виходячи із загальних завдань цього блоку, виокремлюються конкретні питання і показники для сканування, розглянемо їх.

По-перше, на сьогодні основний тягар витрат на науку бере на себе держава, тому сканування та моніторинг динаміки бюджетних асигнувань на неї в різних країнах світу є важливим показником того, хто є лідерами і в яких галузях, відповідно, звідки можна чекати наукових проривів, конкурентів на ринку в найближчому майбутньому. Виявлення наукових організацій-лідерів у різних галузях слід розглядати як важливий результат форсайт-програми. Іншим значущим аспектом сканування є механізми державної підтримки.

По-друге, у багатьох галузях науки відзначається зацікавленість з боку приватного сектору, причому він фінансує не тільки прикладні дослідження і розробки, а й проблемно орієнтовані фундаментальні дослідження. Це ті галузі, де попит на ринку вже проявляє себе або очікування приватного сектору щодо його динаміки досить високі. Тому сканування витрат приватного сектору на науку, а також вивчення структури цих витрат є важливою інформацією для форсайт-програми інноваційного розвитку підприємств ОПК.

По-третє, важливим завданням сканування є виявлення тих наукових галузей, де очікуються наукові прориви і, відповідно, проведення подальшого моніторингу осередків зародження нових технологій [9].

По-четверте, цінною інформацією для форсайт-програм є бібліометрична і патентна інформація, причому перша за своєю значущістю перевершує другу. Бібліометрична інформація відображає ті галузі науки, де концентрується науковий потенціал, а отже, можна очікувати на наукові прориви та інновації.

Патентна інформація відображає ті наукові знання, які вже готові до конвертації в ринковий продукт, однак багато результатів досліджень і розробок не патентуються.

Нарешті сфери застосування результатів досліджень та розробок у різних галузях і секторах економіки також є важливим результатом будь-яких форсайт-програм, причому отримані результати можуть бути використані одночасно в декількох з них.

Технології. Питання впровадження інноваційних технологій переплітаються з науковими дослідженнями у відповідній сфері, але це інший аспект аналізу, так само, як і інформаційна база, яка може бути використана для цих цілей. Завданнями блоку є виявлення та групування технологій військового та подвійного призначення залежно від періоду часу, коли вони можуть з'явитися на ринку, за галузями і секторами економіки, де вони можуть бути використані, а також за конкретними галузями технологій. Важливо в кожній із великих галузей виділити більш дрібні сектори. Цінною є інформація, що дає змогу окреслити вплив, який вони можуть мати в перспективі на розвиток економіки, забезпечення національної безпеки, прогрес інших науково-технічних галузей, а також оцінити їхній внесок у розв'язання екологічних і соціальних проблем.

Аналіз сформованих тенденцій зовнішнього середовища та стартових умов інноваційного розвитку підприємств ОПК проводиться в блоці "Бенчмаркетинг". На

цьому етапі розроблення форсайт-програм доцільне дослідження такого блоку питань:

порівняльний аналіз науково-технічного та виробничо-технологічного потенціалів;
вивчення тенденцій розвитку ринку;

аналіз використання результатів досліджень і розробок у сфері технологій військового та подвійного призначення іншими галузями й секторами економіки;

порівняння форсайт-програм у сфері інноваційного розвитку.

Аналіз науково-технічного та виробничо-технологічного потенціалів доцільно проводити, використовуючи як статистичну, так і якісну інформацію з блоку “Сканування і моніторинг”. Як статистику необхідно використовувати такі показники, як бюджетні асигнування на науку та їхню структуру, а також витрати приватного сектору. Своєрідним індикатором лідерства окремих галузей науки є іноземні інвестиції та міжнародні проекти. Доцільне також порівняння вітчизняних пріоритетів у сфері технологій військового й подвійного призначення з показниками (даними) інших країн. Важливе значення в цьому блоці має зіставлення потенціалу наукових колективів у галузі технологій військового й подвійного призначення з їхніми конкурентами в країнах-лідерах [10].

Аналіз тенденцій розвитку ринку слід починати з вивчення кількості компаній у різних галузях і секторах економіки та порівняння цих показників з аналогами в інших державах. При цьому слід виділяти великі компанії, малий бізнес і окремо малий бізнес на стартовій стадії.

До завдань аналізу ринку входить не тільки визначення кількості компаній на ньому та їхніх позицій, а й виявлення потенційних ринкових потреб, сформованих бар’єрів. Потенційні потреби ринку можна окреслити, вивчаючи економічні й соціальні проблеми, у розв’язанні яких технології військового та подвійного призначення можуть відіграти суттєву роль, а також мотивації виробників.

Бар’єри розвитку ринку технологій військового та подвійного призначення можуть мати різну природу: економічну, правову, інституційну.

Результати бенчмаркетингу є основою для проведення SWOT-аналізу, до завдань якого входить виділення в стислому вигляді сильних і слабких позицій, а також можливостей і проблем інноваційного розвитку. Для його реалізації доцільно створити експертну групу з різних суб’єктів політики (науковці, експерти корпоративного сектору, представники структур влади та громадських організацій). Під час формування експертної групи варто передбачити, щоб експерти для SWOT-аналізу в подальшому входили також до складу групи розробників сценаріїв.

Наступним етапом розроблення форсайт-програми є дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК. Для цих цілей можуть використовуватися три інструменти: Делфі-метод, побудова сценаріїв, технологічні дорожні карти.

Центральні позиції займає Делфі-метод, який дає змогу виділити ті технології військового та подвійного призначення, які зроблять істотний внесок у забезпечення конкурентоспроможності, розв’язання оборонних, соціальних, екологічних проблем і в розвиток інших галузей науки та технологій [11]. Ядром цього методу є опитування експертів, що проводиться в два раунди. У першому їм пропонують дати оцінки інноваційним позиціям (конкретним інноваціям), включеним до опитувального аркуша, за

показниками, які виділено для характеристики кожної з них. Результати першого раунду обробляються. У другому раунді експерти ще раз оцінюють інноваційні позиції за виділеним колом показників, при цьому вони отримують середньостатистичні значення показників для кожної інноваційної позиції, розраховані на підставі першого раунду.

Якщо порівнювати Делфі з іншими методами опитування експертів, то його переваги не викликають сумнівів, оскільки він дозволяє:

по-перше, акумулювати експертні оцінки широкого кола фахівців;

по-друге, вносити елемент дискусії між експертами, оскільки в другому раунді кожен з них отримує оцінки за результатами роботи панелі в першому раунді і, відповідно, може переглянути свої попередні рішення або, навпаки, продумати ті аргументи, які зумовили їх відмінність від решти думок;

по-третє, завдяки анонімності уникати тиску авторитетів.

Слід зазначити, що класичний метод Делфі має і низку недоліків. По-перше, хоча він дозволяє виявляти та пріоретизувати можливості науки, нові технології, які можуть з'явитися на ринку, але не дає змоги пов'язати їх із різними варіантами динаміки попиту на продукцію та послуги в перспективі, а також із геополітичними, культурними тенденціями, із тими регуляторами ринку, які можуть бути введені в перспективі на національних і регіональних рівнях. Крім того, за деякими технологічними позиціями немає консенсусу серед експертного співтовариства, що спричиняє небезпеку того, що деякі технологічні позиції можуть бути недооцінені більшістю експертів та не потраплять в розряд пріоритетів. Це вимагає модифікації як самої технології проведення Делфі-опитування, так і його зв'язку з розробленням сценаріїв.

По-друге, під час використання класичного Делфі є небезпека, що на виході буде отримано своєрідну екстраполяцію сформованих технологічних тенденцій. Щоб цього не сталося, необхідно включити в опитувальний аркуш запитання про можливі наукові прориви, а також долучити до експертів різних суб'єктів політики: учених, експертів оборонно-промислового сектору, осіб, які приймають рішення в структурах влади, споживачів інновацій тощо.

Зв'язок перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК із можливими геополітичними, економічними і соціальними тенденціями розглядається в блоці "Сценарії", де досліджуються можливі альтернативні варіанти розвитку зовнішнього середовища (економіка та ринки, соціальна сфера й система цінностей, екологія, суміжні науково-технічні галузі), а також оцінюються динаміка ринку і траєкторія інноваційного розвитку в різних сценарних альтернативах.

Для побудови сценаріїв необхідно сформувати сценарну групу, яка має бути міждисциплінарною і, крім того, повинна включати експертів, які залучаються на етапі SWOT-аналізу. Такий підхід до формування сценарної групи, по-перше, забезпечить акумулювання знань експертів із різних галузей, що є своєрідною основою глибшого розуміння перспектив інноваційного розвитку, а по-друге, створить передумови для конструктивного діалогу між різними суб'єктами політики, що стане підґрунтям не тільки для глибшого розуміння перспектив інноваційного розвитку, а й для розроблення скоординованих дій.

Початкова інформація для побудови сценаріїв надходить практично з усіх блоків: “Сканування та моніторинг”, “Бенчмаркетинг”, “SWOT”, “Делфі” та “Дорожні карти”.

Інформацію з блоку “Сканування та моніторинг” важливо обробити та згрупувати за основними сферами розвитку зовнішнього середовища ОПК (геополітика, економіка, соціальні та екологічні проблеми), а також за проблемами модернізації оборонних технологій (країни-лідери в окремих галузях технологій, регулятори політики, преференції споживачів технологій). Важливо мати інформацію як ретроспективну, так і прогнозну [12].

З блоків “Бенчмаркетинг” і “SWOT” важливо акумулювати інформацію, що стосується стартових умов і потенціалу технологій України в зіставленні з іншими країнами.

З блоку “Делфі” необхідно проаналізувати інформацію щодо бар’єрів і невизначеностей розвитку технологій, а також механізмів політики, які важливо використовувати для підтримки та регулювання інновацій в перспективі.

Важливу роль у побудові сценаріїв відіграють “Дорожні карти”. Вони надають інформацію про конкретні технологічні події, які можуть змінити траєкторію розвитку в майбутньому або істотно вплинути на неї.

На етапі дослідження перспектив інноваційного розвитку підприємств ОПК побудова дорожніх карт ґрунтується на результатах Делфі. Дорожні карти мають показати, на якому етапі інноваційного циклу перебувають окремі технології, коли очікується їхній вихід на ринок, які технології можна очікувати в різних галузях. Їх доцільно будувати у двох ракурсах: за окремими галузями технологій і тематичними групами, а також за секторами використання. Споживачами дорожніх карт за галузями й тематичними групами є науковці та структури влади, які приймають рішення про пріоритети інноваційного розвитку підприємств ОПК. Ці карти доцільно використовувати в блоці “науково-технічна та виробничо-технологічна платформи” для формування пріоритетів науки і технологій. Дорожні карти за галузями ОПК використовують відповідні підприємства. Крім того, їх доцільно застосовувати в блоці “Сценарії” [13].

Уся інформація про ретроспективу та тенденції інноваційного розвитку підприємств ОПК у майбутньому акумулюється в блоці “Науково-технічна та виробничо-технологічна платформи”, завданням якого є розроблення стратегії інноваційного розвитку виробництва, формування наукових і технологічних пріоритетів та механізмів державної підтримки інноваційного розвитку підприємств ОПК.

Метою розроблення науково-технічної та виробничо-технологічної платформ для інноваційного розвитку є формування наукових і технологічних пріоритетів, акумулювання ресурсів на їх реалізацію, формування державно-приватного партнерства та розроблення механізмів підтримки пріоритетних технологій. Цей блок пов’язує результати досліджень про перспективи інноваційного розвитку підприємств ОПК із розробленням державної політики.

Інформаційною базою для розроблення науково-технічної та виробничо-технологічної платформ слугує інформація з усіх блоків форсайт-програми. Ці платформи включають:

довгострокові стратегічні цілі;
коротку характеристику стартових умов, включно із сильними і слабкими сторонами, новими можливостями та загрозами;
стратегічні перспективи для досягнення поставлених цілей;
пріоритетні напрями інноваційного розвитку;
план дій і комплекс взаємопов'язаних механізмів підтримки інновацій.

Створення платформ має починатися з розроблення стратегії, у якій визначаються довгострокові цілі, дається коротка характеристика стартових умов, формуються блоки пріоритетних технологій і стратегічні механізми політики.

Висновки. Отже, форсайт пов'язаний із майбутнім, яке закладається сьогодні. Дуже важливо те, що він має відштовхуватися від реальних потреб, а не наявних можливостей. Для реалізації цього інструменту на практиці необхідна орієнтація на перспективу. Пріоритети форсайта є орієнтирами для всього суспільства, вони показують найактуальніші науково-технічні та соціально-економічні перспективні проблеми, розв'язання яких необхідне для його прогресу, що ґрунтується на знаннях. Крім того, пріоритети форсайта не є жорсткими критеріями бюджетного фінансування наукової та інноваційної діяльності, структура державного фінансування науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт лише частково збігається з ними.

Для України цей метод може бути використаний для розроблення пріоритетів державного фінансування нових напрямів науково-дослідних досліджень, як механізм визначення необхідних інституційних змін у цій сфері й формування національної інноваційної системи в оборонній галузі. Застосування форсайта може мати велике значення у справі зміцнення контактів державного сектору, приватного бізнесу й суспільства загалом, у розвитку культури співробітництва, виробленні принципових рішень про шляхи інноваційного розвитку ОПК.

У нашій державі на сьогодні робляться лише спроби використання методу форсайта для вироблення політики в галузі інформаційної технології в ОПК. Важливо, щоб у процесі ухвалення рішень брали участь представники бізнесу, зокрема на базі форсайт-проектів, щоб розроблення напрямів прогнозування було підпорядковане ухваленню конкретних рішень, орієнтувалося на пошук ризиків. Прикладом такого підходу є розділення інституційної та проектної діяльності у сфері науково-технологічного розвитку на базі науково-технологічного форсайта, який здатен визначити сфери відповідальності й інтереси бізнесу, окреслити наукові та технологічні пріоритети в оборонній сфері.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / Наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 136 с.
2. Єфремова Н., Марченко М., Ломовських Л. Роль і значення форсайту в стратегічному управлінні регіональним розвитком в епоху глобалізації та цифрової трансформації економіки // Галицький економічний вісник. 2023. Т. 82, № 3. С. 145–151. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2023.03

3. Решетняк О. І. Форсайт-методи в управлінні науково-технологічним розвитком // Ефективна економіка. 2019. № 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.12.67>
4. Шеремет О. О. Впровадження платформи форсайт у забезпеченні та реалізації ринкових стратегій у харчовій промисловості // Ефективна економіка. 2019. № 5. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.5.68>
5. Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008–2012 роки : постанова КМУ від 11.09.2007 № 1118. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118-2007-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.01.2021).
6. Кваша Т. К., Мусіна Л. А, Писаренко Т. В. Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008–2009 роки: підсумки 2008-го // Світ. 2009. № 17–18.
7. Цілі сталого розвитку: Україна : національна доповідь. 2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 15.05.2024).
8. Крючкова І. В. Форсайт, як інструмент визначення пріоритетів довгострокового розвитку країни // Ефективна економіка. 2021. № 11. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.11.20>
9. Квітка С. А. Інноваційні механізми в публічному управлінні: форсайт // Аспекти публічного управління. 2019. Т. 7, № 4. С. 5–16. <https://doi.org/10.15421/151918>
10. Інституційно-організаційні основи проведення форсайт-дослідження «Економіка України – 2050» : колективна монографія / За наук. ред. д-ра екон. наук, проф., чл.-кор. НАН України М. І. Скрипниченко. Київ : НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України», 2021. 492 с. URL: http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2022/04/Forsite_Ukraine_2050-3.pdf (дата звернення: 15.05.2024).
11. Форсайт в Україні: Призначення форсайту. URL: <http://www.uin-tei.kiev.ua/page/pryznachennya-forsaytu> (дата звернення 15.05.2024).
12. Панченко В. Г. Замкнутий цикл інновацій як інструмент інноваційного неопротекціонізму в політиці стимулювання економічної модернізації: виклики створенню інноваційної екосистеми // Ефективна економіка. 2017. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6144> (дата звернення 15.05.2024).
13. Мельник Ю. М. Застосування форсайт-технології у розвитку промисловості національної економіки // Причорноморські економічні студії. 2019. № 37. С. 201–219.

Стаття надійшла до редакції 30.06.2024.

REFERENCES

1. Zghurovskiy, M. Z. (Ed.) *Forsait ekonomiky Ukrainy: serednostrokovyi (2015–2020 roky) i dovhostrokovyi (2020–2030 roky) chasovi horyzonty [Foresight of the Economy of Ukraine: Medium-Term (2015–2020) and Long-Term (2020–2030) Time Horizons]*. (2015). Kyiv [in Ukrainian].
2. Yefremova, N., Marchenko, M., & Lomovskykh, L. (2023). Rol i znachennia forsaitu v stratehichnomu upravlinni rehionalnym rozvytkom v epokhu hlobalizatsii ta tsyfrovoyi transformatsii ekonomiky [The Role and Importance of Foresight in the Strategic Management of Regional Development in the Era of Globalisation and Digital Transformation of the

Economy]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk [Galician Economic Bulletin]*, Vol. 82, № 3, 145–151. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2023.03 [in Ukrainian].

3. Reshetniak, O. I. (2019). Foresait-metody v upravlinni naukovo-tekhnologichnym rozvytkom [Foresight methods in the management of scientific and technological development]. *Efektivna ekonomika [Effective economy]*, № 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.12.67> [in Ukrainian].

4. Sheremet, O. O. (2019). Vprovadzhennia platformy foresait u zabezpechenni ta realizatsii rynkovykh stratehii u kharchovii promyslovosti [Implementation of the foresight platform in the provision and implementation of market strategies in the food industry]. *Efektivna ekonomika [Effective economy]*, № 5. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.5.68> [in Ukrainian].

5. Derzhavna prohrama prohnozuvannia naukovo-tekhnologichnoho rozvytku na 2008–2012 roky : postanova KМУ vid 11.09.2007 № 1118 [State Programme for Forecasting Scientific and Technological Development for 2008–2012: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 11.09.2007 № 1118]. Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118-2007-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

6. Kvasha, T. K., Musina, L. A, & Pysarenko, T. V. (2009). Derzhavna prohrama prohnozuvannia naukovo-tekhnologichnoho rozvytku na 2008–2009 roky: pidsumky 2008-ho [Programme for Forecasting Scientific and Technological Development for 2008-2009: Results of 2008]. *Svit [World]*, № 17–18. [in Ukrainian].

7. Tsili staloho rozvytku: Ukraina : natsionalna dopovid [Sustainable Development Goals: Ukraine: national report]. (2017). Retrived from <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> [in Ukrainian].

8. Kriuchkova, I. V. (2021). Foresait, yak instrument vyznachennia priorytetiv dovhostrokovoho rozvytku krainy [Foresight as a Tool for Determining the Priorities of Long-Term Development of the Country]. *Efektivna ekonomika [Effective economy]*, № 11. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.11.20> [in Ukrainian].

9. Kvitka, S. A. (2019). Innovatsiini mekhanizmy v publichnomu upravlinni: foresait [Innovative Mechanisms in Public Administration: Foresight]. *Aspekty publichnoho upravlinnia [Aspects of Public Administration]*, Vol. 7, № 4, 5–16. <https://doi.org/10.15421/151918> [in Ukrainian].

10. Skrypnychenko, M. I. (Ed.). (2021). Instytutysiino-orhanizatsiini osnovy provedennia foresait-doslidzhennia «Ekonomika Ukrainy – 2050» : kolektyvna monohrafiia [Institutional and Organisational Foundations of the Foresight Study "Economy of Ukraine – 2050": a collective monograph]. Retrived from http://ief.org.ua/wp-content/uploads/2022/04/Forsite_Ukraine_2050-3.pdf [in Ukrainian].

11. *Forsait v Ukraini: Pryznachennia foresaitu [Foresight in Ukraine: The purpose of foresight]*. (n.d.). Retrived from <http://www.uintai.kiev.ua/page/pryznachennya-forsaytu> [in Ukrainian].

12. Panchenko, V. H. (2017). Zamknytyi tsykl innovatsii yak instrument innovatsiinoho neoprotektsionizmu v politytsi stymuliuвання ekonomichnoi modernizatsii: vyklyky stvorenniu innovatsiinoi ekosystemy [Closed Cycle of Innovations as an Instrument of Innovative Neo-Protectionism in the Policy of Stimulating Economic Modernisation: Challenges to the Creation of an Innovative Ecosystem]. *Efektivna ekonomika [Effective economy]*. Retrived from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6144> [in Ukrainian].

13. Melnyk, Yu. M. (2019). Zastosuvannia forsait-tekhnologii u rozvytku promyslovosti natsionalnoi ekonomiky [Application of Foresight Technology in the Development of Industry of the National Economy]. *Prychornomorski ekonomichni studii [Black Sea Economic Studies]*, № 37, 201–219. [in Ukrainian].

A. V. Trystan, V. V. Larin, V. P. Hmyria, S. V. Strikha, M. M. Kostashchuk, P. M. Piontkivskyi

FORESIGHT AS AN INNOVATIVE TOOL FOR PLANNING AND IMPLEMENTING SCIENTIFIC TECHNOLOGIES IN THE DEFENCE INDUSTRY

Various methods and approaches are used for innovative development of enterprises, among which Foresight has proven to be more effective. It is a method of long-term forecasting, a way of building a balanced, coherent and responsible image of the future, a tool for predicting phenomena of a social, technical and mental nature. Foresight is a process of selecting new directions, which establishes links between elements by combining different opinions of the national innovation system actors. Foresight is used to develop long-term strategies for the development of the economy, science, and technology aimed at increasing competitiveness and maximizing the effect of the defense industry. The foresight differs from well-known planning tools in that its purpose is not only to prepare an analytical forecast of the most problematic areas of development of enterprises of the defense-industrial complex, but also to seek to unite the efforts of participants engaged in the process of change, to create conditions for them to anticipate events. Foresight is based on the technology of the work of a large number of experts who directly convey their views, knowledge and assumptions. Experts can be scientific communities, scientific and scientific-pedagogical employees of educational institutions, representatives of authorities and public organizations, large enterprises, communal institutions, etc.

The use of foresight in the forecasting of innovative activities in the defense-industrial complex will make it possible to use the best global knowledge and experience of management and development at all levels, as well as learn useful lessons from other people's mistakes, find new ways of development in a single flow with the international community, identify risks and competitive advantages.

Keywords: *foresight; defense industry; SWOT-analysis; state; war; innovative tool.*

Д. А. Іщенко, В. В. Стрінада, О. В. Левченко

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ЗАДУМУ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ТЕНДЕНЦІЙ ЗБРОЙНОЇ БОРОТЬБИ

Досвід ведення бойових дій у ході широкомасштабної агресії РФ проти України підтверджує взаємозалежність процесів розвитку засобів (зразків, комплексів, систем) ураження та засобів боротьби з ними. Спостерігається стійке зростання бойової ефективності та значущості розвідувально-ударних (розвідувально-вогневих) комплексів, у складі яких діють безпілотні авіаційні комплекси, а також техніки радіоелектронної боротьби, застосування якої зменшує їх ефективність.

У статті проаналізовано особливості сучасної збройної боротьби щодо застосування розвідувально-ударних (-вогневих) безпілотних авіаційних комплексів та їх результативності в умовах радіоелектронної боротьби. З урахуванням цього автори запропонували методичний підхід до порядку підготовки вихідних даних для формування варіантів узагальненого складу розвідувально-ударного безпілотного авіаційного комплексу, який є сукупністю перехідостійких безпілотних засобів.

Розвідувально-ударний безпілотний авіаційний комплекс пропонуємо створювати на базі підрозділів ударних безпілотних літальних апаратів як організаційне і технічне об'єднання зразків безпілотних авіаційних засобів розвідки, цілевказання, наведення й ураження, що дозволяють комплексно вирішувати завдання викриття, визначення та оперативного ураження цілей. Для самостійного виконання завдань розглядаємо його як сукупність функційно пов'язаних зразків озброєння та військової техніки: безпілотних літальних апаратів, станцій керування та корегування, засобів запуску і посадки, а також програмо-технічних засобів управління бойовим застосуванням.

Використання розробленого порядку дозволяє отримувати опорні варіанти та формувати технічний обрис розвідувально-ударного безпілотного авіаційного комплексу як якісно нового зразка озброєння та військової техніки.

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат; безпілотний авіаційний комплекс; радіоелектронна боротьба; розвідувально-ударний комплекс; спроможність; стадія життєвого циклу виробу озброєння та військової техніки “задум”.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Результати аналізу перебігу збройної боротьби під час антитерористичної операції, операції Об'єднаних сил, бойових дій у ході широкомасштабної агресії РФ проти України свідчать про зростання бойової ефективності та значущості розвідувально-ударних (розвідувально-вогневих) комплексів (РУК, РВК), безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), а також техніки радіоелектронної боротьби (РЕБ), застосування якої зменшує їх ефективність. Потреба набуття необхідних спроможностей ведення бойових дій для досягнення перемоги над противником

© Д. А. Іщенко, В. В. Стрінада, О. В. Левченко, 2024

передбачає кількісне нарощування та/або якісне вдосконалення засобів вогневого ураження (ВУ).

Кількісне нарощування засобів ВУ та боєприпасів до них обмежене через значну залежність від стабільності й особливостей умов їх зовнішнього постачання.

Основними шляхами якісного вдосконалення є розроблення (модернізація, закупівля) зразків (комплексів, систем) озброєння та військової техніки (ОВТ), що забезпечать комплексування спроможностей типових груп “РОЗВІДКА (INTELLIGENCE)” та “ЗАСТОСУВАННЯ (ENGAGE)” за необхідними (щодо перешкодозахищеності) спроможностями підгрупи “Р-7.1. Радіоелектронна боротьба”.

На теперішній час необхідно дотримуватися порядку формування вимог до ОВТ [18], що відображає особливості воєнного стану, з урахуванням нормативних положень [2] щодо життєвого циклу (ЖЦ) виробів військового призначення (ВВП). Стадія “задум” є визначальною для ЖЦ, зокрема для стадії “використання”. Досягнення правильності задуму ВВП потребує результатів об’єктивного всебічного аналізу наявних подібних (прототипів) зразків (комплексів, систем) щодо їх місця й ролі у збройній боротьбі та прогнозування ефективності якісно нового (модернізованого) виробу відповідно до тенденцій її розвитку. Формування задуму ВВП потребує врахування виникнення ризиків, які можуть мати негативний вплив на досягнення цілі – набуття необхідних спроможностей [3] та отримання бажаного результату.

За відсутності науково обґрунтованого порядку формування задуму зразка РУК як сукупності безпілотних перешкодостійких засобів, потреба ефективного ведення бойових дій військами (силами) з його застосуванням переростає в проблему набуття ними необхідних спроможностей за рахунок удосконалення ВВП.

Отже, формування задуму РУК як сукупності безпілотних перешкодостійких засобів є актуальним науково-практичним завданням, яке можливо вирішити за умови своєчасного отримання результатів аналізу тенденцій перебігу збройної боротьби з урахуванням ризиків, обумовлених сукупністю об’єктивних і суб’єктивних факторів та умов природного та штучного походження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема розвитку комплексів ОВТ, порушеним у цьому дослідженні, присвячено праці [4–6]. У [7] проаналізовано виклики та застереження щодо застосування роботизованих систем і перспектив їх розвитку в Збройних Силах (ЗС) України. У [8] проведено порівняння різних варіантів розвідувально-ударних систем чи комплексів, а також наведено методичні підходи до обґрунтування вибору їх раціонального варіанта. Праця [9] висвітлює питання основ побудови РУК (РВК), зокрема з використанням безпілотних літальних апаратів (БпЛА), їх застосування та розвитку. Застосуванню БпЛА для вирішення завдань збройної боротьби присвячено публікацію [10], де за результатами узагальнення досвіду запропоновано підходи до використання БпАК у складі РУК (РВК).

Досить повно та всебічно висвітлюють результати теоретичних і практичних досліджень питань РЕБ, пов’язаних зі створенням, впровадженням та застосуванням зразків ОВТ, чинні документи та публікації [11, 12]. Нормативною базою, що встановлює типові стадії ЖЦ ОВТ, а також фази (етапи) робіт та їхній зміст на кожній з них, визначає

підхід для реалізації оптимальних методів керування ЖЦ ОВТ та дозволяє розробникам обрати оптимальний зміст його стадій, фаз та етапів залежно від мети, економічних чинників і наявних ризиків, є [2].

Проте порядок формування задуму РУК як сукупності безпілотних перешкодостійких засобів за результатами аналізу особливостей збройної боротьби розкрито недостатньо. Наявність суб'єктивних факторів у зазначених підходах пов'язана з низкою суперечностей і неоднозначностей, що стримує процес досліджень проблем розвитку розвідувально-ударних (РУ) БпАК в інтересах набуття необхідних спроможностей ведення бойових дій.

Формулювання завдання дослідження. З урахуванням досвіду збройної боротьби та особливостей її перебігу розробити порядок підготовки вихідних даних для формування варіантів узагальненого складу РУК, створеного як сукупність перешкодостійких безпілотних засобів. На відміну від традиційного РУК (РВК) ракетних військ і артилерії, у якому БпЛА використовуються як засоби інформаційного забезпечення бойового застосування вогневих підрозділів, за елементи ураження в його побудові передбачається мати ударні БпЛА.

Виклад основного матеріалу. Збільшення частки бойових завдань, а також заходів підтримки та забезпечення, що виконують війська (сили) з використанням безпілотних засобів (систем, комплексів) є однією зі стійких ознак збройної боротьби. Підтвердженням такої тенденції є [6, 13]:

кількісне збільшення сил і засобів безпілотних систем (БпС), покращення якісних цільових й експлуатаційних параметрів таких засобів ОВТ та, відповідно, показників бойових можливостей військових частин (підрозділів), оснащених такими зразками;

створення органів військового управління, що опікуються розвитком БпС та їх застосуванням у військах (силах), розробляють за участю профільних наукових (науково-дослідних) установ відповідну доктринальну та нормативну базу [13];

удосконалення підготовки персоналу за напрямками експлуатації та застосування БпС.

Результати прогностичного аналізу свідчать, що на ближню перспективу слід очікувати розширення кола бойових (спеціальних) завдань військових частин (підрозділів) БпС у всіх сферах бойового середовища та збільшення можливих проміжків часу бойових епізодів їх застосування за призначенням у різних ланках і формах ведення бойових дій.

Розвиток БпС, основою яких є радіотехнічні та програмно-технічні засоби, зумовлює вдосконалення відповідних зразків техніки (засобів) РЕБ із системами управління ними. У сучасних умовах значних ресурсних обмежень на використання наявних засобів ВУ та потреби тривалого часу на зменшення їх дефіциту розвиток теорії та практики набуття необхідних спроможностей з РЕБ визначається значущою тенденцією збройної боротьби [3]. Набуття таких спроможностей щодо техніки, тактики, підготовки персоналу і військових частин (підрозділів) за всіма її складовими (радіоелектронне подавлення, радіоелектронний захист, електронна підтримка РЕБ) здійснюється в об'єктивних умовах кількісної переваги зс рф у традиційних силах і засобах РЕБ. Покращення співвідношення наявних спроможностей потребує дослідження шляхів врахування особливостей РЕБ із БпС, асиметричних дій щодо кількісного нарощування сил і засобів.

Ретроспективний спільний аналіз перебігу збройної боротьби під час антитерористичної операції, операції Об'єднаних сил та особливо бойових дій у ході широкомасштабної агресії РФ проти України підтверджує взаємозалежність процесів розвитку БпС та систем (комплексів, засобів) РЕБ. Характерною особливістю такої тенденції є стабільно випереджальний розвиток БпС та складність підтримання спроможностей РЕБ відповідно до нього.

Системний аналіз інформації про склад засобів ураження в ударах противника, порядок їх застосування для ВУ військових та інфраструктурних об'єктів, проведений в аспекті вказаних тенденцій, дозволяє зробити такі висновки:

противник з використанням БпС (за умов різноманітності, узгодженості й комплексності застосування), наприклад БпЛА, створює та розвиває певні розвідувально-ударні системи (РУС), що об'єднує РУК та РВК стратегічної, оперативної, тактичної ланок своїх військ (сил);

війська (сили) мають актуальну потребу в РУК (РВК), за відсутності необхідних зразків ОВТ, здатних у реальному часі (близькому до нього) завдавати удари по противнику, що є проблемою набуття необхідних спроможностей для ураження елементів РУС противника;

такими необхідними зразками ОВТ стають БпЛА, що вже традиційно використовуються в складі РУК та РВК для реалізації функції повітряної розвідки (корегування ударів), а також успішно застосовуються як засоби безпосереднього завдання ударів;

БпЛА розвідувального й уражального призначення, а також (опційно за потреби) цілевказання, ретранслятори радіосигналів, управління якими, у разі виконання ними часткових, відповідно до призначення, завдань, здійснюється в єдиному алгоритмі розвідувально-ударних дій (РУД), реалізованому програмно-технічним засобом (ПТЗ), у сукупності зі своїми станціями керування й корегування (СКК) та засобами запуску і посадки (ЗЗП) можуть утворювати розвідувально-ударний (РУ) БпАК;

така сукупність засобів ОВТ, що функційно пов'язані в РУ БпАК, може стати технічною основою набуття спроможностей нової якості, які, завдяки спільному розвитку спроможностей [3] “І-2.1.2. Ведення повітряної розвідки БпАК (БпЛА)” та “Е-2.1.3. Вогневе ураження наземних (морських) цілей із використання БпАК”, дозволяють самостійно виконувати завдання вибору й оперативного ураження цілей;

в аспекті РЕБ складові РУ БпАК (БпЛА, СКК), що функціонують із використанням радіоелектронних засобів (РЕЗ), є радіоелектронними об'єктами, які, за наявності передавальних РЕЗ, – це джерела радіовипромінювань, що підлягають радіоелектронній розвідці, а за її результатами та використанням приймальних РЕЗ підлягають радіоелектронному подавленню.

Отже, проєкт створення нового виробу ОВТ – РУ БпАК можна вважати на умовній (за прикладом НАТО) стадії його ЖЦ – прекоцепції (попередній задум) [2]:

доцільним – за аналізом тенденцій збройної боротьби з використанням РУК на основі БпС в умовах РЕБ;

потрібним – для набуття необхідних спроможностей Силами оборони України;

можливим – шляхом комплексування наявних спроможностей “РОЗВІДКА (INTELLIGENCE)” та “ЗАСТОСУВАННЯ (ENGAGE)”;

таким, що потребує на всіх стадіях ЖЦ урахування ризиків, особливо на стадіях “використання” та “підтримка”, пов’язаних із фактором РЕБ.

Варіантом порядку формування задуму РУ БпАК, раціонального за результатами аналізу тенденцій збройної боротьби, як якісно нового комплексу ОВТ пропонується така послідовність дій:

а) визначення для РУ БпАК зразків ОВТ, об’єктів-цілей, по яких потрібно завдавати РУД. Це сукупність виконуваних за єдиним замислом і планом польотів розвідувальних та ударних БпЛА, узгоджених за використанням ПТЗ, підтриманих супровідними заходами РЕБ із захисту їх РЕЗ, із виконанням маневру засобами зльоту й посадки безпілота, а також завдання ударів у тактичній та оперативній глибині для ураження важливих об’єктів противника, що здійснюються в реальному масштабі часу відповідно до обстановки, яка складається;

б) визначення, відповідно до прогнозовано передбачуваних особливостей об’єктів – цілей РУД та їх просторово-часового розташування, сукупності елементів БпАК, класів зразків ОВТ, що повинні бути функційно пов’язаними, та множини підкласів (наприклад, БпЛА: розвідувальні, цілевказувальні; ретранслятори радіосигналів, ударні, РУ; СКК, обладнані пультом (-ами) керування та контролю (ПКК), відповідними БпЛА; ПТЗ; ЗЗП: для БпЛА одноразового й багаторазового (обмеженої кількості та ситуаційного) застосування);

в) визначення зразків ОВТ РУ БпАК, що є радіоелектронними об’єктами, а в їх складі РЕЗ джерела та приймання випромінювання, а також можливості їх бути для противника потенційними джерелами розвідки й цілями перешкод зокрема та об’єктами радіоелектронного подавлення засобами РЕБ у цілому;

г) формування множини можливих варіантів РУ БпАК з урахуванням потреби та реалізації можливостей з радіоелектронного захисту його РЕЗ від радіоелектронної розвідки, подавлення, функційного ураження електромагнітним імпульсом і самонавідної на випромінювання зброї противника та забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ у складі комплексу засобами своїх військ (сил);

д) визначення з множини можливих варіантів підмножини потрібних (за умовою необхідного комплектування цільовим споряддям, яке забезпечує самостійне виконання завдань щодо визначених об’єктів та найбільш перешкодостійке);

е) оцінювання варіантів із множини потрібних за визначеними показниками бойової ефективності та вибір раціональних варіантів за критерієм оптимальності.

Порядок підготовки задуму РУ БпАК потребує формалізації його формування, яка доцільна та можлива шляхом розроблення сукупності математичних виразів, що дозволяє перейти від вербального опису його основних потрібних властивостей до їх кількісного подання для визначення прогнозованої ефективності. Забезпечення ефективності вирішується на всіх стадіях ЖЦ [2] комплексу:

“задум”, “розроблення”, “виробництво” – створення засобів, характеристики та параметри яких дозволяють виконувати цільові завдання за призначенням у найкращий спосіб;

“використання” та “підтримка” – планування й реалізація раціональних (оптимальних) способів (методів) усіх засобів у складі РУ БпАК. Оскільки проблема

ефективності комплексу є актуальною протягом усього ЖЦ, тому, на думку авторів, доцільно, починаючи із найбільш ранніх компонентів, здійснювати кількісне оцінювання технічних засобів і способів їх застосування. У цьому дослідженні РУ БпАК розглядаємо як засіб ОБТ, що має радіоелектронні об'єкти та окремі РЕЗ. Його елементи (БпЛА, СКК тощо) відрізняються побудовою, алгоритмами функціонування тощо, але всі вони є потенційними цілями радіоперешкод. Тому потрібно кількісно оцінювати їх ефективність за узагальненими для всіх стадій принципами, показниками та критеріями оцінювання, що базуються на законах, характерних для всіх стадій ЖЦ, використовуючи їх найбільш загальні властивості на такому ступені повноти, що визначається цілями досліджень, які проводяться на певному етапі (стадії) [13].

На думку авторів, можливо звести потрібні властивості до узагальнених показників, які дозволяють прогнозувати можливості РУ БпАК у різних його варіантах, щодо виконання цільових завдань у просторі, часі та з певним ступенем імовірності. При цьому на перших ітераціях формалізації немає необхідності застосовувати складний математичний апарат для моделювання БпАК, оскільки основна увага зосереджується на правильному визначенні оперативного-тактичного змісту РУД за умовами, припущеннями та обмеженнями, що не викривляють фізики процесів застосування його елементів і комплексу в цілому.

Основна потрібна й узагальнена властивість РУ БпАК – ефективність ураження об'єктів противника, яку в певному тактичному епізоді E можна визначити шляхом аналізу співвідношення результативності W РУД РУ БпАК та вартості його застосування C [13]:

$$E = \frac{W}{C}. \quad (1)$$

Вважається, що потрібно, можливо та доцільно у вигляді показників проаналізувати часткові показники.

По-перше, надійність [15] РУ БпАК, що забезпечує безвідмовне функціонування $p_{БВФ}$ комплексу під час $T_{РУД}$ реалізації бойового циклу (БЦ) РУД. На етапі розроблення технічного обриса пропонуємо прийняти, що

$$p_{БВФ} = p(t) = e^{-\int_0^{T_{РУД}} \lambda(t) dt}, \quad (2)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов, що розраховуємо в такий спосіб:

$$\lambda(t) = \frac{n_{нс}}{n_c} = \frac{n_{нс}}{(N - n_c) \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

де Δt – період часу оцінювання виникнення відмов;

$n_{нс}$ – кількість несправних елементів;

n_c – кількість справних елементів;

N – загальна кількість елементів, а в разі прийняття умови, що потік відмов є простим ($\lambda(t) = const$), матимемо

$$P_{БВФ} = p(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (4)$$

Також можна визначити

$$T_{БВФ} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1}{T_{БВФ}}, \quad (6)$$

де $T_{БВФ}$ – середній час безвідмовної роботи.

По-друге, стійкість [15] РУ БпАК до фактора негативних впливів, які противник здатний здійснювати на його елементи під час реалізації БЦ РУД.

Імовірність подолання несприятливих впливів у зоні дії РУК $p_{ПНУ}$ розраховуємо за такою формулою:

$$P_{ПНУ} = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot t_{i_n}}, \quad (7)$$

де λ_i – інтенсивність ефективного впливу i -го несприятливого фактора на елементи РУК (БпЛА);

t_{i_n} – час знаходження елементів РУ БпАК в області ефективного впливу i -го несприятливого фактора на елементи РУК (БпЛА).

Для оцінювання перешкодозахищеності $\lambda_{рв}$ (інтенсивність перешкод) кількість (κ) одиниць радіоелектронних впливів (РВ) за одиницю часу становить

$$\lambda_{рв} = \frac{\kappa}{t_{ОДЧ}}. \quad (8)$$

У цій роботі розуміємо, що РВ (окремий, періодичний, систематичний) – це дії радіоелектронними перешкодами сил та засобів РЕБ за єдиним замислом і планом згідно з поточною радіоелектронною обстановкою на системи управління РУ БпАК. У множині радіоелектронні перешкоди визначають як навмисно створені, одночасні електромагнітні випромінювання (перевипромінювання) широкого спектра частот [3]. Вважаємо, що РВ здійснюють активними радіоелектронними перешкодами, створеними за рахунок власних електромагнітних випромінювань засобів РЕБ. З оперативно-тактичного погляду важливим є саме кількість таких РВ, які може бути реалізовано під час виконання бойового завдання.

Фізичний зміст $\lambda_{рв}$ зрозумілий цілком у разі радіоелектронного подавлення з використанням (створення, постановка) імпульсної (синхронної, за періодом (циклом)

роботи РЕЗ БпАК; несинхронної; хаотичної) радіоелектронної перешкоди (у вигляді одиночних імпульсів або серій послідовностей імпульсів), а також для функційного ураження електромагнітним імпульсом. У цьому дослідженні ймовірності подолання несприятливого радіоелектронного подавлення шляхом РВ на РЕЗ БпАК припускаємо, що активні перешкоди будь-якого типу надходять на приймальні РЕЗ БпАК із певною періодичністю, яка обумовлюється, наприклад:

а) потребою проведення противником:

розвідки передавальних РЕЗ БпАК, які, у свою чергу, можуть мати певну планомірність роботи;

дорозвідки результатів РВ на приймальні РЕЗ БпАК без випромінювання засобів перешкод;

б) можливістю використання в РУ БпАК режимів функціонування (керування, польоту БпЛА) без застосування передавальних і приймальних РЕЗ (із використанням автономних систем керування та навігації).

Отже, можна визначити

$$P_{ПНУ} = e^{-\lambda_{рв} \cdot t_{РЕП}} = e^{-\frac{k}{t_{ОДЧ}} \cdot t_{РЕП}} = e^{-\frac{k}{t_{ОДЧ}} \cdot n \cdot t_{ОДЧ}} = e^{-n \cdot k}, \quad (9)$$

де n – коефіцієнт пропорційності (кількість одиниць часу РВ, що реалізується за період перебування РЕЗ РУ БпАК, наприклад БпЛА, у зоні РЕП противника):

$$n = \frac{t_{РЕП}}{t_{ОДЧ}}. \quad (10)$$

По-третє, оперативність, що забезпечує досягнення мети РУД (тривалість БЦ) за час, не більший, ніж потрібний противнику для застосування його об'єкта, що є ціллю РУ БпАК $P_{ОБЦ}$ [15]:

$$P_{ИНФ} = e^{-\frac{T_{ОЦУ}}{T_{ОЧ}}}, \quad (11)$$

де $T_{ОЦУ}$ – час, потрібний на виявлення розвідувальним БпЛА, ідентифікацію об'єкта, визначення його координат та передавання даних на ПТЗ, вироблення та передавання цілевказання на призначений ударний БпЛА, вихід його на рубіж завдання удару;

$T_{ОЧ}$ – середній час перебування об'єкта РУД у даному стані або на місці;

$\frac{1}{T_{ОЧ}}$ – параметр рухомості об'єкта РУД.

По-четверте, повнота РУД, що забезпечує досягнення їх мети по об'єктах-цілях [15]:

$$P_{РУД} = \frac{S_{РУД}}{S_{ОЦ}}, \quad (12)$$

де $p_{РУД}$ – частковий показник, імовірність потрапляння області, потрібної для виконання цільового завдання РУД по об’єктах-цілях, в область дії РУ БпАК:

$$p_{РУД} = \frac{V_{РУД}}{V_{ОЦ}}, \quad (13)$$

де $S_{РУД}$ – площа чи об’єм $V_{РУД}$ області РУД РУ БпАК;

$S_{ОЦ}$ – повна площа розташування (перебування) об’єкта-цілі чи об’єм $V_{ОЦ}$ області простору його розташування.

За умовою $S_{РУД} \geq S_{ОЦ}$ (або $V_{РУД} \geq V_{ОЦ}$) приймаємо $p_{РУД} = 1$.

Отже, із використанням положень [15] за прийнятими частковими показниками можна визначити

$$P_{РУБпАК} = P_{БВФ} \cdot P_{ПНУ} \cdot P_{ОБЦ} \cdot P_{РУД}. \quad (14)$$

Тоді вираз (1) з урахуванням формул (2)–(14) для результативності РУД РУ БпАК набуває такого вигляду:

$$W = 1 - \frac{N - M(N)}{N},$$

$$M(N) = N \cdot \sum_{i=1}^N p_{i_{РУБпАК}}, \quad (15)$$

$$W = \sum_{i=1}^N p_{i_{РУБпАК}},$$

де N – кількість об’єктів-цілей РУД;

$M(N)$ – математичне сподівання кількості об’єктів-цілей, уражених за результатами РУД, які проводяться досліджуванним РУ БпАК.

Відповідно до [2] передбачена стадія ЖЦ РУ БпАК “задум”, а у НАТО – прекоцепція (попередній задум), на якій визначаються цілі, яких потрібно досягти, та вимоги зацікавлених сторін до комплексу [16]. Вітчизняним аналогом прекоцепції є роботи, пов’язані з розробленням оперативно-стратегічних (ОСВ), оперативно-тактичних (ОТВ) і тактико-технічних вимог (ТТВ) до перспективних виробів ОВТ [17].

Вимоги до РУ БпАК та його складових передбачають характерні властивості, необхідні для виготовлення відповідного їм комплексу та обґрунтованої перевірки його відповідності під час випробувань [17]:

1) адекватність – відповідність реальним потребам набуття необхідних спроможностей;

2) однозначність – мала ймовірність різного тлумачення;

- 3) абстрактність – опис РУ БпАК або його складників, а не способу застосування;
- 4) повнота – відображення саме істотних потреб і ситуацій, за яких РУ БпАК має виконувати завдання за призначенням;
- 5) сумісність вимог;
- 6) відстежуваність, за якої вимоги повинні мати чітко встановлені зв'язки з елементами створюваного РУ БпАК, щоб завжди можна було визначити, для виконання яких вимог призначений кожний із цих елементів і наскільки він їм відповідає;
- 7) верифікованість – придатність до перевірки, тобто можливість для кожної вимоги однозначно встановити за допомогою певної процедури виконана вона чи ні;
- 8) придатність до модифікації – можливість зміни вимог зі швидким усуненням їх суперечностей;
- 9) реалізованість у визначений термін за наявних у розробника ресурсів.

У [18] зазначено, що ОТВ – це упорядкована сукупність якісних і кількісних показників бойових властивостей, що окреслюють призначення комплексу, його бойові завдання, об'єкти дії, умови бойового застосування та рівень бойової ефективності, які комплекс повинен мати для виконання бойових завдань підрозділами в очікуваних (прогнозованих) умовах ведення операції (бойових дій). Але аналіз практики розроблення вимог (ОСВ, ОТВ, ТТВ) свідчить про відсутність сталого підходу (методики) до формалізованого визначення показників, що дозволяють сформувати вимоги до рівня бойової ефективності та, як наслідок, їх брак у відповідних проєктах. Певним поясненням такого стану є те, що положеннями [18] такі показники визначені для ОСВ, але щодо ОТВ вказано, що вони включають “бойові можливості системи (комплексу, зразка) ОВТ (для загальних вимог можливості системи (комплексу, зразка) ОВТ).” Показники бойових можливостей можуть бути застосовані, але вони не здатні замінити показники і критерії бойової ефективності РУ БпАК. У такому разі (у цьому дослідженні) можна запропонувати за показники рівня бойової ефективності, який РУ БпАК повинен мати для виконання бойових завдань підрозділами в очікуваних (прогнозованих) умовах РЕБ у ході ведення операції (бойових дій), використовувати (1)–(14).

Розроблені в дослідженні положення можна використовувати в роботах, виконуваних на стадії “задум” РУ БпАК: формування вихідних вимог; пошук принципів і шляхів створення виробу ОВТ; обґрунтування оптимального (раціонального) варіанта створення.

Висновки. За результатами аналізу тенденцій сучасної збройної боротьби запропоновано потребу набуття необхідних спроможностей для ВУ противника реалізовувати шляхом створення РУК як сукупності безпілотних перешкодостійких засобів. Науковим розв'язанням проблеми, зумовленої відсутністю науково обґрунтованого порядку формування задуму такого комплексу, рекомендуємо вважати порядок підготовки вихідних даних для формування варіантів узагальненого складу РУ БпАК. Практичний зміст дослідження в тому, що застосування цього порядку дозволяє отримати опорні варіанти та сформувати технічний обрис РУ БпАК як якісно нового зразка ОВТ. Впровадження зазначеного порядку забезпечує вдосконалення процесу розроблення ОТВ до конкретних РУ БпАК на стадії їх життєвого циклу “задум”.

Подальшими перспективами дослідження за темою статті є необхідність практичного вдосконалення методики обґрунтування вибору варіантів РУС та комплексів для застосування їх під час планування військових операцій з метою підвищення ефективності їх проведення.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Про затвердження Порядку проведення випробувань та прийняття на озброєння (постачання) зразків озброєння, військової та спеціальної техніки, засобів і обладнання іноземного виробництва : постанова Каб. Міністрів України від 17.02.2021 № 159 : станом на 09.04.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/159-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 09.06.2024).
2. ДСТУ В 15.004:2022. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки. Чинний від 2022-26-12. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2022. 28 с.
3. Єдиний перелік (Каталог) спроможностей Міністерства оборони України, Збройних Сил України та інших складових Сил оборони, затверджений Міністром оборони України 31.12. 2021. Київ : МО України, 2021. 703 с.
4. Застосування безпілотних літальних апаратів збройними силами російської федерації у війні проти України / О. О. Олексенко, О. В. Авраменко, А. В. Федоров та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 4 (49). С. 23–28.
5. Роботизовані системи військового призначення наземного, повітряного та морського базування : Довідник / В. Ф. Залужний, С. О. Шаптала, В. В. Коваль та ін. Київ : ЦНДІ ЗС України, 2023. 96 с.
6. Роль і місце роботизованих систем у сучасних війнах і збройних конфліктах: теоретичний аспект / В. Коваль, О. Семененко, С. Баранов та ін. // Journal of Scientific Papers Social Development & Security. October 2023. № 13 (5). P. 256–276. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.5.24>
7. Семененко О., Ремез А., Мусієнко В., Мутринич І. Концептуальні погляди щодо розвитку та застосування роботизованих систем в Збройних Силах України (концепція, завдання, класифікація, система управління, виклики щодо застосування, перспективи // Journal of Scientific Papers Social Development & Security. June 2023. № 13 (3). P. 24–42. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.3.2>
8. Семененко О., Баранов С., Акініна Т., Добровольський Ю. Рекомендації щодо порядку застосування методичного підходу до воєнно-економічного обґрунтування вибору варіанту розвідувально-ударної системи або комплексу в програмах (планах) // Journal of Scientific Papers Social Development & Security. April 2021. № 11 (2). P. 209–221. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.18>
9. Даник Ю. Г., Шестаков В. І. Особливості розвитку та удосконалена класифікація розвідувально-ударних комплексів // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2017. Т. 30, № 3. С. 126–136. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-126-136>
10. Тимчасове керівництво з бойової роботи підрозділів безпілотних авіаційних комплексів ракетних військ і артилерії Збройних Сил України. ВКДП 3-(06,07,46).03.01 /

Ракетні війська і артилерія Сухопутних військ Збройних Сил України спільно з Національною академією сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Київ, 2019. 96 с. URL: https://drive.google.com/file/d/1lyk9D5JaKw0lFvrQ9fERN6HZ_r6olhSe/view (дата звернення: 05.06.2024).

11. ВСТ 01.114.002-2023 (01) Електромагнітна та кіберборотьба. Радіоелектронна боротьба в повітряних операціях. URL: https://milstand.knu.ua/uploads/p_1212_22364672.pdf (дата звернення: 20.06.2024).

12. Joint Publication 3-85. Joint Electromagnetic Spectrum Operations. 2020. USA. (JP 3-85). URL: https://www.jcs.mil/portals/36/documents/doctrine/pubs/jp3_85.pdf?ver=2020-04-09-140128-347 (last accessed: 20.06.2024)

13. ОП 3-0(46) Доктрина. Застосування безпілотних систем у Силах оборони України, затвердж. Головнокомандувачем ЗС України 01.01.2024. Київ : ГШ ЗС України, 2024. 56 с.

14. Цветков А. Г. Принципы количественной оценки эффективности радиоэлектронных средств. Москва, 1971. 200 с.

15. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона. Проблемы и перспективы противостояния. Книга врага, ворожою мовою. Київ, 2024. 76 с.

16. AAP-20:2015 NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model). URL: <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-20-2015.pdf> (last accessed: 01.06.2024).

17. Pressman R. S., Maxim B. R. Software Engineering. Practitioner's Approach. 9th ed. McGraw-Hill Education, 2020. 1073 p.

18. Про затвердження Інструкції з формування оперативно-стратегічних, оперативно-тактичних та загальних вимог до перспективних (нових, модернізованих) систем (комплексів, зразків) озброєння та військової техніки Збройних Сил України : наказ Головнокомандувача ЗС України від 28.08.2020 № 127. Київ : ГШ ЗС України, 2020. 13 с.

Стаття надійшла до редакції 28.06.2024.

REFERENCES

1. *Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia vyprobuvan ta pryiniattia na ozbroiennia (postachannia) zrazkiv ozbroiennia, viiskovoi ta spetsialnoi tekhniky, zasobiv i obladnannia inozemnoho vyrobnytstva : postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 17.02.2021 № 159: stanom na 09.04.2024 [On Approval of the Procedure for Testing and Adoption (Supply) of Samples of Weapons, Military and Special Equipment, Means and Equipment of Foreign Production: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 17.02.2021 № 159: as of 09.04.2024].* Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/159-2021-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

2. *DSTU V 15.004:2022. Systema rozroblennia i postavlennia na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Stadii zhyttievoho tsyklu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Chynnyi vid 2022-26-12 [The System of Development and Delivery of Weapons and Military Equipment. Stages of the Life Cycle of Weapons and Military Equipment. Effective from 2022-26-12.].* (2022). Kyiv [in Ukrainian].

3. Yedynyi perelik (Kataloh) spromozhnostei Ministerstva oborony Ukrainy, Zbroinykh Syl Ukrainy ta inshykh skladovykh Syl oborony, zatverdzhenyi Ministrom oborony Ukrainy 31.12.2021 [The Unified List (Catalog) of the Capabilities of the Ministry of Defence of Ukraine, the Armed Forces of Ukraine and other components of the Defence Forces was approved by the Minister of Defence of Ukraine on 31.12.2021]. (2021). Kyiv [in Ukrainian].
4. Oleksenko, O. O., Avramenko, O. V., Fedorov, A. V., Snitsarenko, V. V., & Chernavina, O. E. (2022). Zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ zbroinyu sylamy rosiiskoi federatsii u viini proty Ukrainy [Use of Unmanned Aerial Vehicles by the Armed Forces of the Russian Federation in the War Against Ukraine]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]*, № 4 (49), 23–28 [in Ukrainian].
5. Zaluzhnyi, V. F., Shaptala, S. O., Koval, V. V., Nazarov, V. M., & Hryshchuk, R. V. (2023). *Robotyzovani systemy viiskovoho pryznachennia nazemnoho, povitrianoho ta morskoho bazuvannia: Dovidnyk [Military-Based Robotic Systems for Land, AIR and sea. Reference book]*. Kyiv [in Ukrainian].
6. Koval, V., Semenenko, O., Baranov, S., Ostrovsky, S., Akinina, T., & Sechenev, O. (2023). Rol i mistse robotyzovanykh system u suchasnykh viinakh i zbroinykh konfliktakh: teoretychnyi aspekt [Role and Place of Robotic Systems in Modern Wars and Armed Conflicts: Theoretical Aspect]. *Journal of Scientific Papers Social Development & Security*, № 13 (5), 256–276. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.5.24> [in Ukrainian].
7. Semenenko, O., Remez, A., Musiienko, V., & Mutrynych, I. (2023). Kontseptualni pohliady shchodo rozvytku ta zastosuvannia robotyzovanykh system v Zbroinykh Sylakh Ukrainy (kontseptsii, zavdannia, klasyfikatsiia, systema upravlinnia, vyklyky shchodo zastosuvannia, perspektyvy) [Conceptual views on the development and application of robotic systems in the Armed Forces of Ukraine (concept, tasks, classification, control system, challenges for application, prospects)]. *Journal of Scientific Papers Social Development & Security*, № 13 (3), 24–42. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.3.2> [in Ukrainian].
8. Semenenko, O., Baranov, S., Akinina, T., & Dobrovolskyi, Yu. (2021). Rekomendatsii shchodo poriadku zastosuvannia metodychnoho pidkhodu do voienno-ekonomichnoho obgruntuvannia vyboru variantu rozvidualno-udarnoi systemy abo kompleksu v prohramakh (planakh) [Recommendations on the Procedure for the Application of the Methodological Approach to the Military-Economic Justification for the Choice of the Option of the Reconnaissance and Strike System or Complex in Programs (Plans)]. *Journal of Scientific Papers Social Development & Security*, № 11 (2), 209–221. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.18> [in Ukrainian].
9. Danyk, Yu. H., Shestakov, V. I. (2017). Osoblyvosti rozvytku ta udoskonalena klasyfikatsiia rozvidualno-udarnykh kompleksiv [Peculiarities of Development and Improved Classification of Reconnaissance and Shock Complexes]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony [Modern Information Technologies in the Field of Security and Defense]*, Vol. 30, № 3, 126–136. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-126-136> [in Ukrainian].
10. *Tymchasove kerivnytstvo z boiovoi roboty pidrozdiliv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv raketnykh viisk i artylerii Zbroinykh Syl Ukrainy. VKDP 3-(06,07,46).03.01 [Temporary Manual*

for Combat Work of Units of Unmanned Aircraft Systems of Missile Forces and Artillery of the Armed Forces of Ukraine. HQDP 3-(06,07,46).03.01]. (2019). Rocket troops and artillery of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine together with the Hetman Petro Sahaidachnyi National Ground Forces Academy. Kyiv. Retrived from https://drive.google.com/file/d/1lyk9D5JaKw0lFvrQ9fERN6HZ_r60lhSe/view [in Ukrainian].

11. *VST 01.114.002-2023 (01) Elektromahnitna ta kiberborotba. Radioelektronna borotba v povitrianykh operatsiakh* [Electromagnetic and Cyber Warfare. Electronic Warfare in Air Operations]. Retrived from https://milstand.knu.ua/uploads/p_1212_22364672.pdf [in Ukrainian].

12. Joint Publication 3-85. Joint Electromagnetic Spectrum Operations. (2020). USA. (JP 3-85). Retrived from https://www.jcs.mil/portals/36/documents/doctrine/pubs/jp3_85.pdf?ver=2020-04-09-140128-347

13. *OP 3-0(46) Doktryna. Zastosuvannia bezpilotnykh system u Sylakh oborony Ukrainy* [Doctrine. Use of Unmanned Systems in the Defense Forces of Ukraine]. (2024). Kyiv [in Ukrainian].

14. Tsvetkov, A. G. (1971). *Printsipy kolichestvennoi otsenki effektivnosti radioelektronnykh sredstv* [Principles of Quantitative Evaluation of the Effectiveness of Radio-Electronic Means]. Moscow [in Russian].

15. *Udarnye bespilotnye letatel'nye apparaty i protivovozdushnaia oborona. Problemy i perspektivy protivostoianii. Knyha voroha, vorozhoiu movoiu* [Attack Unmanned Aerial Vehicles and Air Defense. Problems and Prospects of Confrontation. The Book of the Enemy, in the Language of the Enemy]. (2024). Kyiv [in Russian].

16. AAP-20:2015 NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model). (2015). Retrived from <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-20-2015.pdf>

17. Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). Software Engineering. Practitioner's Approach. 9th ed. McGraw-HillEducation.

18. Pro zatverdzhennia Instruksii z formuvannia operatyvno-stratehichnykh, operatyvno-taktychnykh ta zahalnykh vymoh do perspektyvnykh (novykh, modernizovanykh) system (kompleksiv, zrazkiv) ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky Zbroinykh Syl Ukrainy : nakaz Holovnokomanduvacha ZS Ukrainy vid 28.08.2020 № 127 [On Approval of the Instruction on the Formation of Operational-Strategic, Operational-Tactical and General Requirements for Advanced (New, Modernized) Systems (Complexes, Samples) of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine: Order of the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine of August 28, 2020 № 127]. Kyiv [in Ukrainian].

D. A. Ishchenko, V. V. Strinada, O. V. Levchenko

METHODICAL APPROACH TO THE FORMATION OF THE IDEA OF THE RECONNAISSANCE AND STRIKE COMPLEX BASED ON THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF THE TREND OF ARMED STRUGGLE

The experience of conducting hostilities during the large-scale aggression of the Russian Federation against Ukraine confirms the interdependence of the processes of development of means (samples, complexes, systems) of destruction and means of combating them. There is

a steady increase in the combat effectiveness and importance of reconnaissance and strike (reconnaissance and fire) complexes, which include unmanned aerial systems, as well as electronic warfare techniques, the use of which reduces their effectiveness.

The article analyzes the features of the modern armed struggle regarding the use of reconnaissance and strike (fire) unmanned aerial systems and their effectiveness in the conditions of electronic warfare. With this in mind, the authors proposed a methodical approach to the procedure for preparing initial data for the formation of variants of the generalized composition of the reconnaissance and strike unmanned aerial system, which is a set of interference-resistant unmanned vehicles.

We propose to create a reconnaissance and strike unmanned aerial vehicle system on the basis of units of attack unmanned aerial vehicles as an organizational and technical association of samples of unmanned aerial vehicles for reconnaissance, targeting, guidance and destruction, which allow to comprehensively solve the problems of detection, identification and operational destruction of targets. For independent performance of tasks, we consider it as a set of functionally related models of weapons and military equipment: unmanned aerial vehicles, control and adjustment stations, launch and landing facilities, as well as software and hardware for managing combat use.

The application of the developed procedure makes it possible to obtain reference options and form the technical outline of the reconnaissance and strike unmanned aerial system, as a qualitatively new model of weapons and military equipment.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, unmanned aerial system, electronic warfare, reconnaissance and strike complex, capability, stage of the life cycle of the "plan" weapon and military equipment product.*

Автори випуску

Білоус Костянтин Миколайович – старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 00009-0004-2603-9488

Наукові інтереси:

- безпілотні літальні апарати;
- управління в складних технічних системах.

Бугайов Микола Вікторович – кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0003-0899-9843

Наукові інтереси:

- математичні методи й алгоритми оброблення сигналів.

Гмиря Вікторія Петрівна – кандидат економічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-організаційного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. ORCID: 0000-0003-3070-0158

Наукові інтереси:

- інноваційна підтримка розвитку Збройних Сил України, підтримка оборонно-промислового комплексу.

Горбач Вадим Ярославович – доктор філософії, начальник факультету Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0003-3676-5673

Наукові інтереси:

- безпілотні літальні апарати;
- управління в складних технічних системах;
- задачі багатокритерійної оптимізації.

Горбач Тетяна Петрівна – старший помічник начальника науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0003-2198-3958

Наукові інтереси:

- управління в складних технічних системах;
- організація наукових досліджень.

Дзюбенко Володимир Васильович – ад'юнкт науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0002-4548-8903

Наукові інтереси:

- інформаційні технології радіо та супутникового зв'язку.

Іщенко Дем'ян Андрійович – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0001-9743-3889

Наукові інтереси:

- дослідження складних інформаційних систем;
- моделювання операцій.

Каращук Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.
ORCID: 0000-0002-5691-2098

Наукові інтереси:

- антени, електродинаміка та поширення радіохвиль;
- техніка надвисоких частот.

Костащук Микола Миколайович – провідний науковий співробітник – провідний інженер-випробувач науково-дослідного відділу Навчально-наукового випробувального полігону Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. ORCID: 0009-0009-7642-2414

Наукові інтереси:

- психологія підготовки наукових кадрів Збройних Сил України;
- розвиток озброєння та військової техніки.

Котенко Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.
ORCID: 0009-0002-4177-6841

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних інформаційних систем.

Кудряшов Юрій Олександрович – старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0000-3155-109X

Наукові інтереси:

- інформаційні технології радіо та супутникового зв'язку.

Ларін Володимир Валерійович – кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-організаційного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. ORCID: 0000-0003-0771-2660

Наукові інтереси:

- розвиток озброєння та військової техніки;
- підвищення ефективності систем криптографічного захисту інформації.

Левченко Олександр Віталійович – заслужений діяч науки і техніки України, доктор військових наук, професор, офіцер в/ч А0515. ORCID: 0000-0001-6254-591X

Наукові інтереси:

- моделювання операцій;
- безпілотні системи та комплекси;
- дослідження складних інформаційних систем.

Лобода Вероніка Вікторівна – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.
ORCID: 0000-0002-3535-0233

Наукові інтереси:

- інформаційні технології;
- стратегічні комунікації.

Автори випуску

Марищук Людмила Мічеславівна – старший науковий співробітник науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0000-4798-2169

Наукові інтереси:

- складні термінологічні системи;
- організація наукових досліджень.

Молодецький Богдан Валентинович – кандидат технічних наук, головний спеціаліст Науково-дослідного інституту військової розвідки. ORCID: 0000-0002-2704-7963

Наукові інтереси:

- розробка спеціалізованих інформаційних систем;
- автоматизована обробка інформації.

Нетребко Руслан Васильович – старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0003-3212-5249

Наукові інтереси:

- програмування;
- інформаційні технології;
- інформаційна безпека.

Павленко Михайло Михайлович – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0002-1011-5042

Наукові інтереси:

- інформаційні технології;
- архітектура спеціального програмного забезпечення.

Пількевич Ігор Анатолійович – заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0001-5064-3272

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних систем та процесів;
- боротьба в електромагнітному середовищі;
- кіберзахист.

Піонтківський Петро Миколайович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0002-9103-5393

Наукові інтереси:

- системи підтримки прийняття рішень;
- інформаційні системи військового призначення.

Прокопович Віктор Дмитрович – викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0006-3797-5303

Наукові інтереси:

- інформаційні технології радіо та супутникового зв'язку.

Рихальський Олександр Ростиславович – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0005-2757-5108

Наукові інтереси:

– вплив іоносфери на розповсюдження радіохвиль.

Савчук Владислава Сергіївна – доктор філософії, заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0002-0624-2284

Наукові інтереси:

– соціальна інженерія;
– методи імітаційного моделювання;
– OSINT.

Самонюк Олександр Віталійович – викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0009-0002-4177-6841

Наукові інтереси:

– складні інформаційно-телекомунікаційні системи.

Стрінада Віктор Васильович – кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. ORCID: 0000-0002-0604-7673

Наукові інтереси:

– безпілотні системи та комплекси;
– математичне моделювання складних технічних систем.

Стріха Сергій Володимирович – кандидат психологічних наук, провідний науковий співробітник науково-організаційного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. ORCID: 0000-0002-5937-7748

Наукові інтереси:

– психологія підготовки наукових кадрів Збройних Сил України;
– розвиток озброєння та військової техніки.

Тимчук Володимир Юрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. ORCID: 0000-0002-3549-2813

Наукові інтереси:

– GeoAI;
– машинне навчання;
– штучний інтелект;
– артилерійська розвідка;
– обробка сигналів;
– оборонні технології;
– систем прийняття рішень.

Автори випуску

Тристан Андрій Вікторович – доктор технічних наук, професор, заступник начальника Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки з наукової роботи. ORCID: 0000-0002-2137-5712

Наукові інтереси:

- розвиток озброєння та військової техніки;
- системи підтримки прийняття рішень.

Федорчук Дмитро Леонідович – кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник начальника Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова з наукової роботи. ORCID: 0000-0003-2896-3522

Наукові інтереси:

- дослідження складних інформаційних систем.

Цибуля Надія Сергіївна – студентка Львівського національного університету імені Івана Франка. ORCID: 0009-0009-1924-6936

Наукові інтереси:

- штучний інтелект;
- машинне навчання;
- нейронні мережі;
- комп'ютерний зір;
- криптологія;
- мова програмування Python.

Цибуля Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, докторант Національного університету оборони України. ORCID: 0000-0003-0323-1771

Наукові інтереси:

- штучний інтелект;
- машинне навчання;
- нейронні мережі;
- комп'ютерний зір;
- засоби маскуванню.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Стаття подається в одному примірнику друкованого тексту на білому папері формату А4 у редакторі Microsoft Word шрифтом Times New Roman, розмір літер – 12 пт, стиль – normal (звичайний), міжрядковий інтервал – 1.2, абзац з відступом 0,8 см, інтервал перед та після абзацу – 0 пт, параметри сторінки: зліва – 2,25 см, справа – 2,25 см, зверху – 2,5 см, знизу – 2,25 см, від краю до верхнього та нижнього колонтитула – 2,0 см; сторінки без нумерації. Обсяг статті від 5 до 10 сторінок (без анотацій).

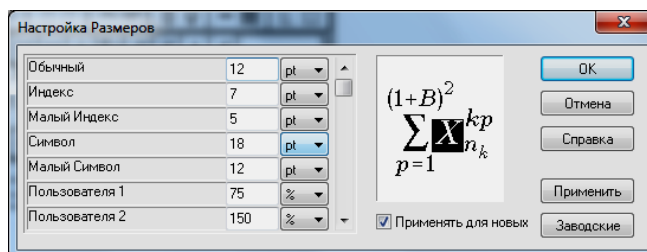
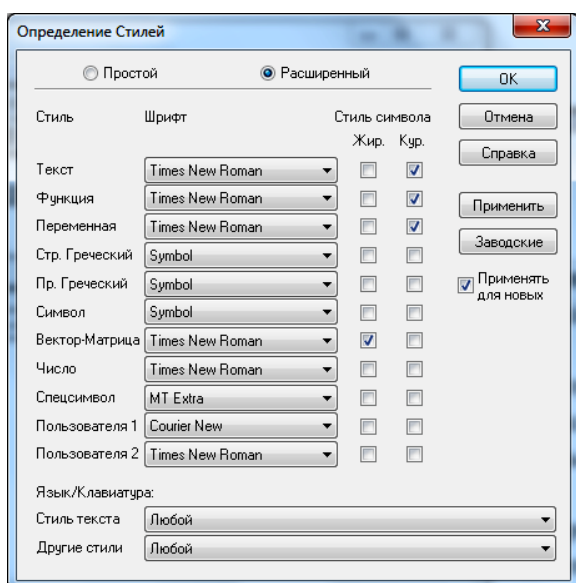
Наукова праця має бути якісно відредагована та **підписана авторами** на звороті останнього аркуша із зазначенням: «У статті інформація з обмеженим доступом відсутня».

До статті додаються: **довідка** про результати перевірки тексту на плагіат, **витяг з протоколу** засідання вченої (наукової, науково-технічної) ради установи (підрозділу) з обґрунтуванням доцільності опублікування роботи; **рецензія** за підписом провідного вченого в даному напрямі наукових досліджень – доктора наук; **дані про авторів** із зазначенням прізвища, імені та по батькові (повністю), наукового ступеня, вченого звання, посади або професії, ORCID, наукових інтересів (обов'язково), контактного телефону, e-mail.

Разом зі статтею подається її електронний варіант з розширенням docx (e-mail, на CD-R, DVD-R) із файлами, які містять: текст статті українською мовою; прізвища, назву, анотацію (із ключовими словами) українською та англійською мовами, REFERENCES, а також дані про авторів.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ

1. Індекс УДК зазначається в лівому верхньому куті перед відомостями про авторів.
2. Ініціали та прізвища авторів – у правому куті (без наукового ступеня та вченого звання, шрифт напівжирний, без нахилу і підкреслювань).
3. Назва статті друкується великими літерами (шрифт напівжирний, без нахилу й підкреслювань) по центрі аркуша без переносів і відокремлюється від тексту одним вільним рядком зверху та знизу.
4. Анотація українською мовою з ключовими словами друкується курсивом під назвою статті й відокремлюється від заголовка та тексту одним вільним рядком. Її обсяг разом із ключовими словами має становити не менше 1800 друкованих знаків (разом із пробілами).
5. Формули в статтях повинні бути надруковані за допомогою редактора формул *Equation Editor*. Усі параметри мають повністю відповідати наведеним нижче формам. Формули розміщують у таблиці без обрамлення, по центрі, без абзацу. Номер формули зазначається посередині висоти другої колонки з виключкою вправо. Усі буквені позначення у формулах та рисунках, а також у тексті статті повинні бути однаковими за розміром і гарнітурою. Допускаються виділення напівжирним шрифтом, курсивом та підкреслювання за бажанням автора.
6. Рисунки до статті потрібно виконувати в редакторі Microsoft Word за допомогою функції «Створити малюнок». Не допускаються рисунки, оформлені як растрові зображення, або такі, що не піддаються редагуванню. Усі текстові написи на рисунках слід робити тільки в кадрах або текстових рамках. Розміри рисунка не повинні виходити за межі полів.
7. Стандартні таблиці слід виконувати в редакторі Microsoft Word. Вони повинні мати короткий заголовок.



8. Наукові статті, що подаються до друку, повинні містити такі необхідні елементи з їх зазначенням: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано вирішення даної проблеми та на які спирається автор, а також обов'язково виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена стаття; постановка завдання (формулювання цілей статті); виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розробок у даному напрямку. Список бібліографічних посилань (не менше 5 джерел) розміщується після статті в порядку згадування або в алфавітному порядку; посилання на літературу в тексті слід давати в квадратних дужках, наприклад, [1]. Бібліографічний опис оформлюється згідно з ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

9. Після списку бібліографічних посилань наводиться REFERENCES, оформлений у стилі APA.

10. Далі подаються англійською мовою: прізвища авторів, назва статті, а також анотація та ключові слова (обсягом не менше ніж 1800 знаків разом із пробілами).

Редакція не несе відповідальності за викладену в статті інформацію. Автори відповідають за точність наведених у публікації даних, цитат, статистичних матеріалів тощо. Матеріали, оформлені з відхиленням від зазначених вимог, редколегія не розглядає.

Публікація в збірнику наукових праць безкоштовна та не передбачає отримання автором (авторами) гонорару та авторського примірника. Установа, представником якої є автор (автори) статті, включається до списку організацій, яким розсилається збірник наукових праць.

Статті приймаються за адресою: Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова (науково-організаційне відділення), просп. Миру, 22, м. Житомир, 10004.

Телефон для довідок: (0412) 48-30-19 (дод. 46-675).

E-mail: nov.zvir@gmail.com