

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

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

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

20

Житомир
2021

Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : збірник наукових праць. Вип. 20 / Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова. – Житомир : ЖВІ, 2021. – 104 с. – ISSN 2076-1546. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2021.20>

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 № 6 від 26.11.2021.

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

Відповідальний секретар – КАНЕВСЬКИЙ Л. Б., кандидат технічних наук (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);

ГРИЦУК Р. В., заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

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

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

САЦУК І. М., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

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

ISSN 2076-1546

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

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21859-11759 ПР від 21.12.2015.

ЗМІСТ

Каневський Л. Б., Пашинський В. А., Колісник О. С., Бедрій Н. А. Метод виділення точок прив'язки на аерофотознімках, отриманих безпілотними літальними апаратами, для їх використання під час автономної навігації	4
Каращук Н. М., Манойлов В. П., Мартинчук П. П., Соболенко С. О. Вимірювання коефіцієнта підсилення антен довільної поляризації дзеркальним методом.....	18
Кобзар О. В., Мусієнко М. В. Топологія побудови операційної системи реального часу автоматизованої системи управління Військово-Морськими Силами Збройних Сил України.....	28
Іщенко Д. А., Кирилюк В. А., Марищук Л. М., Іщенко С. Д. Ітеративний підхід до формування рішення на вдосконалення сил та засобів бойового (оперативного) забезпечення.....	42
Гумен О. М., Кушнар'ова Г. О. Застосування проектно-орієнтованого підходу в розробленні комп'ютерних просторових моделей параметрів мікроклімату з обмеженим простором у військовій техніці.....	58
Ісмаїлова Н. П., Могилянець Т. М. Алгоритмічні формування спряжених моделей для інформаційно-керуючої системи в разі проектування кінематичних пар.....	67
Савчук В. С. Застосування властивостей перколяції для протидії поширенню деструктивного психологічного впливу в соціальних мережах.....	74
Пількевич І. А., Токар А. М., Франжі О. В., Лобода Р. І., Дмитрук В. В. Навчально-тренувальна система для підготовки операторів безпілотних авіаційних комплексів.....	83
Автори випуску	98
Вимоги до оформлення матеріалів	101

Л. Б. Каневський, В. А. Пашинський, О. С. Колісник, Н. А. Бедрій

МЕТОД ВИДІЛЕННЯ ТОЧОК ПРИВ'ЯЗКИ НА АЕРОФОТОЗНІМКАХ, ОТРИМАНИХ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ, ДЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ПІД ЧАС АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ

Ретроспективний аналіз застосування безпілотних авіаційних комплексів у зоні проведення бойових дій вказує на постійне підвищення інтенсивності застосування противником засобів радіоелектронної боротьби, що знижує ефективність виконання розвідувальних польотів безпілотних літальних апаратів, а в деяких випадках призводить до їх втрати. У статті розглянуто перспективи створення та вдосконалення високоточних навігаційних систем, що на сьогодні є одним із пріоритетних напрямків розвитку безпілотних авіаційних комплексів та актуальним для забезпечення високої ефективності застосування безпілотних літальних апаратів як цивільного, так і військового призначення.

Для розробки та дослідження методів й алгоритмів для локалізації положення безпілотного літального апарата на основі зображень місцевості, отриманих неідентичними засобами знімання, з урахуванням впливу на нього засобів радіоелектронної боротьби у статті передусім розглянуто підходи до зіставлення зображень земної поверхні як основної інформаційної складової. Наступним етапом проведено оцінювання правильності вибору інформативних параметрів точок прив'язки, де математична модель для їх опису та виділення є основою для розробки методів й алгоритмів формування автономної навігаційної системи безпілотних літальних апаратів. З урахуванням проведених досліджень було запропоновано реалізувати на борту дрона інтелектуальну інформаційно-розрахункову систему автономної навігації, алгоритм роботи якої ґрунтується на логічній основі дескриптора SIFT.

Завдяки програмній реалізації запропонованих у роботі підходів та отриманих на їх основі експериментальних результатів можливим є розвиток та подальше удосконалення методів позиціонування безпілотних літальних апаратів у просторі.

Ключові слова: *безпілотний авіаційний комплекс; автономна навігація безпілотних літальних апаратів; еталонні та поточні зображення; машинний спосіб позиціонування; алгоритм прив'язки на логічній основі дескриптора SIFT.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Тенденція ведення бойових дій вказує на значущість застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) у системі розвідувально-інформаційного забезпечення своїх військ. Не менш затребуваними такі засоби є й у цивільних галузях. Поряд із цим зростає складність навігаційного забезпечення безпілотних літальних апаратів (БпЛА), що є елементами БпАК, у зв'язку з підвищенням вимог, які висуваються до них в умовах складної перешкодової обстановки, зокрема, створеної засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) тощо.

Розроблення та вдосконалення високоточних навігаційних систем є одним із пріоритетних напрямків розвитку сучасної навігаційної техніки (технології) та актуальним

© Л. Б. Каневський, В. А. Пашинський, О. С. Колісник, Н. А. Бедрій, 2021

для забезпечення високої ефективності застосування БпЛА як цивільного, так і військового призначення [1–5]. Сучасні високоточні системи навігації БпЛА базуються на використанні інерційних навігаційних систем (ІНС) [4, 6], які можуть бути доповнені як системами супутникової корекції [2, 7], так і системами навігації по геофізичних полях Землі [3, 8, 9].

Переважає більшість вітчизняних систем навігації БпЛА ґрунтується на комплексуванні ІНС із системами супутникової корекції. Використання даного способу є достатньо простим і ефективним в умовах стійкого прийому сигналів супутникової навігації, однак такий спосіб має низку недоліків, які полягають у низькій перешкодостійкості системи корекції та неавтономності функціонування. Ретроспективний аналіз застосування БпЛА у зоні проведення бойових дій [10, 11] вказує на постійне зростання інтенсивності застосування противником засобів РЕБ, що знижує ефективність виконання розвідувальних польотів БпЛА, а в деяких випадках призводить до їх втрати. Усе це вимагає створення та вдосконалення високоточних навігаційних систем БпЛА з високою стійкістю функціонування в умовах інтенсивного застосування засобів РЕБ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Швидкий розвиток технічних (бортових) складових БпЛА зумовлює вдосконалення їх навігаційного забезпечення, зокрема для застосування в умовах поганого прийому сигналів супутникової навігації. З-поміж основних напрямків удосконалення можна виокремити такі:

1) використання багатостационарних локальних радіотехнічних систем ближньої навігації типу VOR/DME (Very high frequency Omni directional radio Range / Distance Measuring Equipment) або систем – імітаторів сигналів супутникової навігації [12, 13]. Станції цих систем можуть бути мобільними, облаштованими на автомобілях, але для їх розгортання необхідно завчасно передбачити розміщення в зоні планованого застосування БпЛА. Аналіз використання подібних систем вказує на те, що відношення сигнал / шум підвищується на 35–50 дБ у зоні подавлення (або поганого прийому) сигналів супутникової навігації (космічного базування), а прийом навігаційних сигналів у разі потужностей активних шумових і доплерівських перешкод у зоні дії локальних радіотехнічних систем забезпечується до 100 Вт [13];

2) використання для навігації електронних карт місцевості, політ за якими здійснюється відповідно до даних радіо- або лазерного висотоміра, радіолокаційних станцій або оптико-електронних систем видимого діапазону за методами кореляційно-екстремальної обробки [8, 14, 15];

3) автономний прямолінійний політ БпЛА в напрямку цілі підсвічується зовнішнім джерелом випромінювання [16];

4) використання для навігації різних автономних систем технічного зору [17], а також технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) – технології автоматичної одночасної побудови карти місцевості в невідомому просторі, контролю поточного місця розташування БпЛА і пройденого шляху [18–20].

Запропоновані в роботах [12, 13] підходи доцільно використовувати для цивільних дронів. Для застосування БпЛА у військових цілях (повітряна розвідка противника, його ураження ударними БпЛА тощо), зокрема в зоні ведення бойових дій, такий підхід є менш

реалістичним, бо унеможлиблюється розміщення багатостационарних локальних радіотехнічних систем ближньої навігації на території позиціонування противника, у районі якого необхідно забезпечити планове застосування БпЛА.

Методи, описані в публікаціях [8, 14, 15], є перспективними, але супроводжуються низкою вимог та проблем, пов'язаних зі складністю їх реалізації. Зокрема, одні з них потребують формування високоякісних тривимірних еталонних зображень карт місцевості, де необхідно забезпечити планове застосування БпЛА. В інших методах відсутні підходи до суміщення (використання інформативних параметрів прив'язки) еталонних оптико-електронних зображень місцевості з поточними знімками, отриманими від датчиків неоднакової фізичної природи, також у запропонованих методах не формалізовано порядку вибору початкових еталонних зображень прив'язки з урахуванням довжини та непрямолінійності побудови маршруту польоту БпЛА.

Підходи, розглянуті в [16], передбачають використання групи БпЛА або спільне застосування пілотованих та безпілотної бойових систем, навігаційне забезпечення яких має низку тотожних проблем, описаних вище.

Перспективи реалізації методів, запропонованих у роботах [17–20], свідчать про автономність навігаційної системи БпЛА, але їх застосування на вітчизняних зразках із використанням облаштованої на них цільових та інших бортових приладів, зокрема ІНС, потребує додаткового вивчення. До того ж дані публікації в повній мірі не розкривають особливостей реалізації запропонованих методів на борту БпЛА, а програмні коди для їх інтеграції в БпАК є закритими програмними продуктами, опис яких має лише рекомендаційний характер, без апробації на реальних зразках озброєння.

Формулювання завдання дослідження. Через різні обставини сигнал із навігаційних супутників може бути недоступний або втрачений, а точність інерційних систем не завжди дозволяє ефективно вирішувати цільові завдання, що, як правило, призводить до аварій БпЛА. Тому є необхідність дублювання таких систем навігації шляхом використання системи, що ґрунтується на зіставленні поточного зображення (ПЗ) місцевості, зробленого з борту БпЛА, з її еталонним зображенням (ЕЗ), отриманим з аерофотознімків або супутникових знімків території, над якою буде відбуватися політ. Відповідно, метою статті є розробка та дослідження методів і алгоритмів для локалізації положення БпЛА на основі зображень місцевості, отриманих неідентичними засобами знімання, з урахуванням впливу на нього засобів РЕБ.

Виклад основного матеріалу. Головна ідея створення автономної навігаційної системи для БпЛА полягає в реалізації візуального способу (машинного зору) його позиціонування шляхом зіставлення ЕЗ, завчасно сформованих на весь маршрут польоту БпЛА (наприклад, з аерокосмічних знімків), із ПЗ, що отримуватимуться цільовою бортовою апаратурою БпЛА (оптико-електронними засобами, зокрема, фотоапаратом). Основні труднощі в ході розробки таких методів і алгоритмів полягають в тому, що дані, які використовуються для зіставлення, можуть істотно відрізнятися внаслідок різних сезонних умов отримання ЕЗ земної поверхні та їх роздільної здатності в порівнянні з ПЗ, отриманими БпЛА під час польоту. Крім того, у ПЗ додатково виникають викривлення, зумовлені просторовим положенням самого БпЛА та ракурсом знімання його цільової бортової апаратури. Зазначені питання потребують пошуку оптимальних рішень, але не є

предметом досліджень наведених у цій статті. Паралельно з цим для вироблення прикладних підходів до створення автономної навігаційної системи БПЛА є необхідність пошуку стійких інформативних параметрів зображень геофізичних полів земної поверхні та принципів їх використання (зіставлення) для визначення просторового положення БПЛА під час виконання ним польотного завдання.

Відомі методи [8, 13, 17, 19, 20] для порівняння зображень, ґрунтуються на зіставленні знань про зображення в цілому. У загальному випадку це виглядає таким чином: для кожної точки зображення обчислюється значення певної функції, на підставі цих значень можна надати зображенню певну характеристику. Відповідно, задача порівняння зображень зводиться до задачі порівняння їх характеристик. Такі методи працюють тільки в ідеальних ситуаціях за відсутності: появи нових об'єктів на зображенні; перекриття одних об'єктів іншими; шумів; зміни масштабу зображення, положення об'єкта на ньому, положення камери в тривимірному просторі; освітленості місцевості тощо. Прогресивність подальших підходів полягає в уникненні таких проблем за рахунок пошуку та вибору спеціальних точок прив'язки, інформативні параметри яких мають високий рівень відмінності на загальному фоні земної поверхні. Це дасть змогу проводити зіставлення двох зображень шляхом їх заміни деякою моделлю (набором їх ключових точок). Відповідно, основна ідея полягає у створенні такого детектора та принципів його роботи, що дозволить не лише виділяти подібні точки прив'язки, а й забезпечить інваріантність зіставлення ПЗ із ЕЗ для автономного функціонування ІНС БПЛА тощо.

Формалізовано постановка задачі матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} Z = f(x, y, z) + \delta f \\ \delta f = \delta f_1 + \delta f_2 \\ \delta f \rightarrow \min \end{cases}, \quad (1)$$

де Z – m -мірний вектор спостереження, виражений залежністю навігаційного поля $f(x, y, z)$ від координат місця положення x, y – горизонтальних координат руху БПЛА;

z – вертикальна координата рухомого об'єкта;

δf – сума похибок визначення значень поля в точці (x, y, z) , що відповідає значенню δf_1 , і похибок прив'язки δf_2 .

Використовуючи лінійне рівняння контрольованого процесу руху БПЛА, яке можна виразити як

$$X + A(X, t) = \varphi(X, t)u + \xi, \quad (2)$$

де X – n -мірний вектор стану;

u – відомий вектор, іноді називається вектором керівних впливів;

$A(X, t)$, $\varphi(X, t)$ – відомі нелінійні функції вектора стану і часу;

t – безперервний час;

ξ – випадкові збурення, що мають характер білого шуму,

та використовуючи умови спостереження Z із виразу (1), необхідно визначити навігаційне

поле $f(x, y, z)$ із мінімальним відхиленням від достовірних координат перебування БПЛА.

Враховуючи те, що початкові значення вектора стану є випадковими й підпорядковуються нормальному закону з математичним сподіванням m_0 і коваріаційною матрицею G :

$$p(X_0) \in N(m_0, G), \quad (3)$$

а інтенсивність білих шумів ξ задається матрицями спектральних щільностей S_ξ, S_η :

$$M(\xi(t)\xi^T(\tau)) = S_\xi(t)\delta(t-\tau), M(\eta(t)\eta^T(\tau)) = S_\eta(t)\delta(t-\tau), \quad (4)$$

де M – символ операції математичного сподівання;

$\delta(t-\tau)$ – дельта-функція,

то субоптимальна (у сенсі мінімуму дисперсії помилок усіх координат) оцінка вектора стану визначається двома рівняннями:

1) рівнянням оцінок

$$\dot{\hat{X}} + A\hat{X} = \varphi(\hat{X}, t)u + R\left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}}\right)^T S_\eta^{-1}[Z - h(\hat{X}, t)], \hat{X}(0) = m_0; \quad (5)$$

2) рівнянням коваріації

$$\dot{R} + R\left(\frac{\partial A}{\partial \hat{X}}\right)^T + \frac{\partial A}{\partial \hat{X}}R + R\left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}}\right)^T S_\eta^{-1}\left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}}\right)R = S_\xi, R(0) = G, \quad (6)$$

де $\frac{\partial A}{\partial \hat{X}}, \frac{\partial h}{\partial \hat{X}}$ – матриці Якобі, обчислені в точці $X = \hat{X}$.

Крім того, необхідно враховувати, що в ході виконання БПЛА одного польотного завдання ділянки земної поверхні, які спостерігаються, залежно від фоново-об'єктового складу можуть різко відрізнятися одна від одної. Тобто всі ділянки земної поверхні за фоново-об'єктовим складом можна поділити на ділянки з низькою, нормальною та високою об'єктовою насиченістю за обґрунтовано визначеними класифікаційними ознаками (рослинні покриви, антропогенні об'єкти). Враховуючи те, що зображення земної поверхні є основною інформаційною складовою для детектора виділення точок прив'язки, то математична модель для їх опису та виділення є основою для розробки методів й алгоритмів формування автономної навігаційної системи БПЛА. Власне, задача зводиться до правильності вибору інформативних параметрів точок прив'язки. Відповідно, їх математичний опис із заданими показниками якості повинен забезпечувати формування унімодальної функції вибору між ПЗ та ЕЗ і враховувати те, що інформативні параметри опису точок прив'язки – це параметри, які вимірюються бортовою оптико-електронною системою БПЛА та відрізняються від параметрів ЕЗ. Крім того, інформативні параметри точок прив'язки повинні забезпечити виділення особливих відмінностей від інших точок загального фону як на ПЗ, так і на ЕЗ.

З огляду проведених у [17–20] досліджень, які інтенсивно розвиваються в останні роки, було встановлено перелік найбільш відповідних методів і алгоритмів (SIFT, GLON і DAISY) для досягнення зазначеної вище мети. З усієї наявної сукупності відомих методів і алгоритмів для проведення досліджень, описаних у цій роботі, у питаннях локалізації положення БПЛА за основу було прийнято використовувати детектор, побудований на логічній основі дескриптора SIFT. Незважаючи на те, що даний дескриптор є високостійким як до перерахованих вище факторів спостереження, так і до спотворень, викликаних збуреннями під час польоту БПЛА, емпіричним шляхом було встановлено, що збіжність ПЗ (розміри знімка 900 x 600 м) зі всією сценою ЕЗ (розміри знімка 4540 x 2460 м, а довжина маршруту – 4728 м) є досить низькою і в прямому її використанні не забезпечує процесу позиціонування БПЛА, що пояснюється великою розмірністю ЕЗ і значною кількістю збіжних точок інтересу, як показано на рис. 1, та відсутністю принципу розрахунку навігаційних параметрів на основі прив'язки одного знімка до іншого.



Рис. 1. Експериментальні результати збіжності ПЗ (роздільна здатність 350 dpi) з усією сценою ЕЗ (роздільна здатність 200 dpi) у разі застосування дескриптора SIFT

Враховуючи вирази (2)–(6) для реалізації алгоритму субоптимальної нелінійної фільтрації в задачі навігації БПЛА, необхідним є забезпечення автоматичного розв'язання на борту БПЛА рівнянь такого вигляду:

$$\dot{\hat{X}} + A\hat{X} = bu + R \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}} \right)^T S_n^{-1} [Z - h(\hat{X})], \hat{X}(0) = m_0; \quad (7)$$

$$\dot{R} + AR + RA^T + R \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}} \right)^T S_n^{-1} \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{X}} \right) R = S_\xi, R(0) = G. \quad (8)$$

Для вирішення поставленого завдання та подолання наявних проблем пропонуємо на борту БПЛА реалізувати інтелектуальну інформаційно-розрахункову систему автономної навігації БПЛА, алгоритм роботи якої схематично наведено на рис. 2.

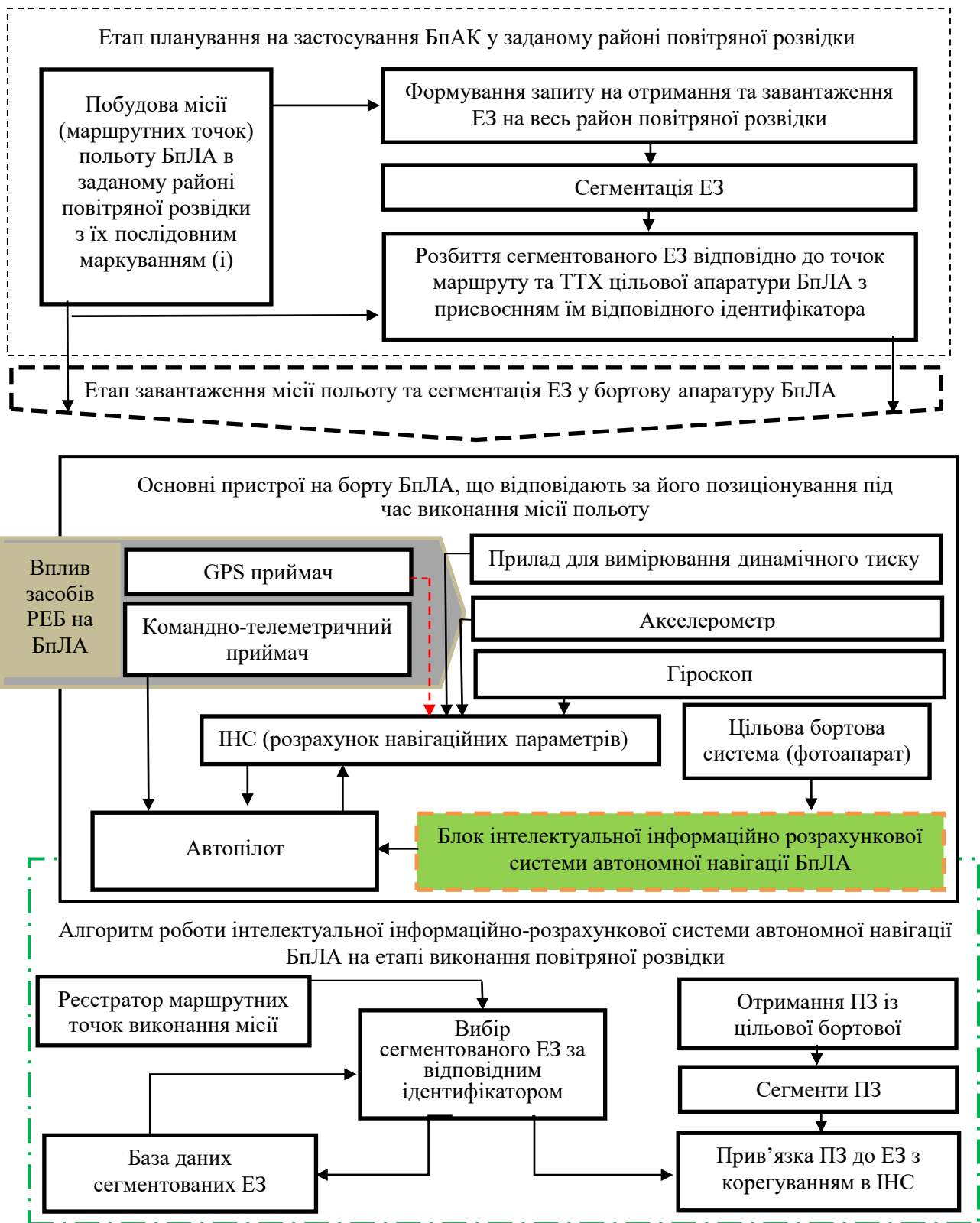


Рис. 2. Блок-схема забезпечення функціонування інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації БпЛА під час виконання місії польоту

Реалізація запропонованих на рис.2 підходів полягає в поетапному створенні принципів та основ функціонування самого блоку інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації, основним завданням якого є забезпечення автономного (автоматичного) виконання повітряної розвідки БпЛА під впливом засобів

РЕБ як під час подавлення каналу приймання сигналів супутникової навігації, так і в ході подавлення приймачів командно-телеметричних сигналів на борту БпЛА. Відповідно, на етапі планування на застосування БпАК у заданому районі повітряної розвідки окрім звичної процедури побудова місії польоту БпЛА (вибір маршрутних точок, висоти, швидкості та послідовності їх польоту) додатково необхідно проводити: формування запиту на отримання та завантаження геореференційованого ЕЗ на весь район повітряної розвідки, над яким буде відбуватися політ, із завчасно створеної бази аерофотознімків або супутникових знімків території за принципом, як запропоновано в роботі [21].

Після отримання геореференційованого ЕЗ на тому ж етапі необхідно провести сегментацію зображення. Такий процес зазвичай використовують для виділення об'єктів та меж (лінії, криві тощо) на цифрових зображеннях. У результаті маємо множину сегментів, які разом покривають усе ЕЗ, або множину контурів, виділених із нього. Усі пікселі в сегменті схожі за деякою характеристикою або визначеною властивістю, наприклад, за кольором, яскравістю або текстурою. У нашому випадку математична модель сегментації зображення полягає в такому.

Нехай $D(m \times n)$ – растр (область поля зору), на якому задано зображення $B(i, j)$; $D_k \subset D$ – область k -го об'єкта, $k = 1, 2, \dots, s$; $D_\phi \subset D$ – область фону. Вважаємо, що $D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_s \cup D_\phi = D$, $D_i \cap D_j = \emptyset$, $i \neq j$. Розглядаємо дискретне зображення $B(i, j)$, $i = 0, \dots, m$, $j = 0, \dots, n$. Зображення складається з окремих елементів (цифрових значень) фону, відповідно, завдання сегментації зображень полягає в побудові предиката в такому вигляді:

$$\omega(i, j) = \begin{cases} k, & \text{якщо } (i, j) \in D_k \\ 0, & \text{якщо } (i, j) \in D_\phi \end{cases}$$

Це означає, що кожна точка $(i, j) \in D$ зображення $B(i, j)$ отримує зв'язну мітку з номером $p(i, j)$. Отже, точки з одною міткою утворюють область одного окремого об'єкта, міткою 0 назначається область фону. Математична модель передбачає розмітку непересічних об'єктів або видимих їх частин при закритті одного об'єкта іншим. У підсумку декомпозиція загальної задачі перетворюється на такі задачі: сегментація, розпізнавання, поліпшення (фільтрація, усунення шумів, підкреслення меж тощо). Запропонований підхід у подальшій інтерпретації частково затулених об'єктів дозволяє проводити їх розпізнавання та зіставлення з ПЗ. Таким чином, ЕЗ адаптуються до ПЗ, які будуть отримуватися цільовою бортовою системою (фотоапаратом чи відеокамерою), призначеною для збору розвідувальної інформації.

Крім цього, на етапі планування на застосування БпАК у заданому районі повітряної розвідки відповідно до маршрутних точок та тактико-технічних характеристик (ТТХ) цільової апаратури БпЛА попередньо проводиться розбиття ЕЗ на розрахунково визначені (сталі за розмірами) частини із присвоєнням їм відповідного ідентифікатора. Це дозволяє зменшити кількість збіжних точок інтересу на всьому ЕЗ із подальшим порівнянням ПЗ та підвищити оперативність обрахунку координат свого місця перебування під час польоту БпЛА.

На етапі завантаження місії польоту та адаптованих ЕЗ у бортову апаратуру БпЛА, окрім даних для автопілота про маршрут польоту (маршрутні точки, висоти, швидкості та

послідовності їх польоту), необхідно забезпечити завантаження розбитих ЕЗ у блок інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації, зокрема безпосередньо в блок-схему «База даних сегментованих ЕЗ» (рис. 2).

Алгоритм роботи інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації БпЛА на етапі виконання повітряної розвідки передбачає, що під час виконання ним польотного завдання в штатному режимі без впливу засобів РЕБ противника в блок-схемі «Реєстратор маршрутних точок виконання місії» (рис. 2) відслідковується його місце перебування відносно тієї частини ЕЗ, що відповідає заданому ідентифікатору. У такому режимі польоту блок інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації перебуває в стані очікування на перехід в автономний режим польоту, усі інші його блок-схеми не застосовуються до моменту впливу засобів РЕБ противника.

У момент подавлення каналів приймання сигналів супутникової навігації та командно-телеметричних сигналів на борту БпЛА засобами РЕБ алгоритм роботи блоку інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації полягає в такому: за відповідним ідентифікатором із «Бази даних сегментованих ЕЗ» вибирається відповідна частина ЕЗ, паралельно з цим у блок-схемі «Отримання ПЗ із цільової бортової апаратури БпЛА» приймається цифрове зображення (ПЗ) місця ділянки або району, який захоплює цільова бортова апаратура БпЛА в ході планового знімання. Після сегментації ПЗ даний знімок разом із частинним зображенням ЕЗ надходять на блок-схему «Прив'язка ПЗ до ЕЗ з корегуванням в ІНС» (рис. 2), де реалізовується процес порівняння ПЗ із частинним ЕЗ за допомогою SIFT алгоритму.

Із використанням алгоритму SIFT у блок-схемі «Прив'язка ПЗ до ЕЗ з корегуванням в ІНС» (рис. 2) спершу знаходяться ключові точки об'єктів на ЕЗ, які зберігаються в окремій (тимчасовій) базі даних. За допомогою індивідуального порівняння кожної ознаки із зазначеної бази даних розпізнають об'єкт на ПЗ та знаходять кандидатів із відповідними характеристиками за допомогою розрахунку Евклідової відстані векторів їхніх ознак. Із повного набору відповідностей визначаються підмножини ключових точок, які узгоджуються з об'єктом і його місцем розташування, масштабом й орієнтацією ПЗ відносно ЕЗ, а також відфільтровуються правдиві відповідності. Швидке визначення послідовних кластерів відбувається за допомогою ефективною реалізації хеш-таблиці узагальненого перетворення Хофа. Кожен кластер із трьох або більше ознак, які узгоджуються з об'єктом і його орієнтацією, є предметом подальшої верифікації детальної моделі, а відхилення згодом відкидаються. Далі розраховується ймовірність того, що конкретний набір ознак вказує на присутність об'єкта, з урахуванням точності й кількості можливих помилкових збіжностей. Відповідності об'єкта, які проходять усі ці тести, можна ідентифікувати як правдиві з високою достовірністю. Додатково в цій блок-схемі геометричним методом проводяться визначення координат центра кадру відносно геореференційованого ЕЗ та розрахунок навігаційних параметрів БпЛА, на основі яких забезпечується безперервна робота автопілота за заданою місією без сигналів GPS приймача.

Адекватність запропонованих підходів перевірялася емпіричним шляхом за рахунок реалізації розробленого алгоритму роботи інтелектуальної інформаційно-розрахункової

системи автономної навігації БПЛА у вигляді спеціального програмного забезпечення на мові програмування Python, результати наведено на рис. 3.



Рис. 3. Експериментальні результати визначення навігаційних параметрів БПЛА із застосуванням блоку інтелектуальної інформаційно-розрахункової системи автономної навігації на основі дескриптора SIFT

Висновки. Отже, отримані експериментальні результати підтверджують достовірність запропонованих теоретичних підходів та прийомів, які за рахунок використання таких інформативних параметрів, як: яскравість об'єктів та фонів, контраст, колір, тощо – із застосуванням детектора, побудованого на логічній основі дескриптора SIFT, дають змогу проводити локалізацію положення БПЛА на основі зображень місцевості, отриманих неідентичними засобами знімання.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на вивчення можливостей адаптації ЕЗ до ПЗ шляхом урахування перспективних спотворень останніх, а також на пошук шляхів підвищення точності позиціонування БПЛА із урахуванням перспективних спотворень ПЗ та методів екстраполяції руху БПЛА з високою точністю.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Навігаційне забезпечення військ / А. П. Багмет, О. В. Кравчук, О. Г. Міхно, М. С. Пастушенко та ін. Київ : ЦУВТН ГУОЗ КСП ЗСУ, 2006. 416 с.
2. Яценков В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС : Монография. Москва : Издатель “Горячая линия – Телеком”, 2005. 272 с.
3. Белоглазов И. Н. Системы навигации и наведения по геофизическим полям : Монография. Москва : Издатель “Дрофа”, 2005. 734 с.
4. Веремеенко К. К., Кошелев Б. В., Соловьев Ю. А. Анализ состояния разработок интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем // Новости навигации. 2010. № 4. С. 32–41.
5. Семенова Л. Л. Современные методы навигации беспилотных летательных аппаратов // Наука и образование сегодня. 2018. № 4 (27). С. 6–8.
6. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. Москва : Машиностроение, 1982. 225 с.
7. Навигационные спутниковые системы мира. Военное обозрение. 2012. 3 октября. URL: <http://topwar.ru/19529-navigacionnyye-sputnikovyye-sistemy-mira.html>, (дата обращения: 25.12.2020).
8. Щербинин В. В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем

навигации и наведения летательных аппаратов. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 230 с.

9. Антюфеев В. И., Биков В. М., Грiчанюк А. М. Принципи побудови високоточної системи управління високошвидкісних літальних апаратів // Системи озброєння і військова техніка. 2006. № 1. С. 7–12.

10. Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 109–146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105.

11. Ясечко М. Н., Очкуренко А. В., Ковальчук А. А., Максютя Д. В. Современные радиотехнические средства борьбы с беспилотными летательными аппаратами в зоне проведения АТО // Зб. наук. праць Харків. ун-ту Повітряних Сил. 2015. № 3 (44). С. 54–57.

12. Scherbinin V. V., Sviyazov A. V., Smirnov S. V., Kvetkin G. A. Autonomous navigation complex for ground and flying robotic vehicles // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2014. № 3 (152). P. 234–243.

13. Filippov A. A., Bazhin D. A., Khlobystov A. N. Improving Drone Aircraft Control Efficiency under Interference // Informatsionno-upravliaiushchie sistemy. 2014. Vol. 73, N. 6. P. 45–50.

14. Югай Е. Б. Способ и система навигации пассажирского дрона в горной местности [Method and system for navigation of a passenger drone in a mountainous area] : патент RU № 219.016.D337; 2681278 C1 ; опубл. 05.03.2019. URL: <https://edrid.ru/rid/219.016.d337.html> (дата обращения: 20.05.2021).

15. Баклицкий В. К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь : ТО «Книжный клуб», 2009. 360 с.

16. Війни дронів: використання безпілотників під час бойових дій у Нагірному Карабасі URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/30889212> (дата звернення: 12. 12. 2020).

17. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения : Курс лекций и практических занятий / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, А. В. Бондаренко [и др.]. Москва : Физматкнига, 2010. 672 с.

18. Kahlefendt C. Implementation and Evaluation of Monocular SLAM for an Underwater Robot : Master's Thesis. Hamburg University of Technology, Hamburg, January 2018. 127 p.

19. Mur-Artal R., Montiel J. M. M., Tardos J. D. ORB-SLAM: a Versatile and Accurate Monocular SLAM System. // IEEE Transactions on Robotics. 2015. № 31 (5). P. 147–163. DOI: 10.1109/TRO.2015.2463671

20. Li Y., Xie C., Lu H., Chen X., Xiao J., Zhang H. Scale-aware Monocular SLAM Based on Convolutional Neural Network // IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), August 2018. P. 51–56.

21. Каневський Л. Б., Повх М. С., Шумський С. М. Перспективи комбінованого використання видових засобів повітряно-космічного базування для підвищення інформативності розвідувального забезпечення військ (сил) // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони : наук. журн. Київ : НУО України, 2020. № 1 (37). С. 49–54.

Стаття надійшла до редакції 03.06.2021.

REFERENCES

1. Bahmet, A. P., Kravchuk, O. V., Mikhno, O. H., & Pastushenko, M. S. et al. (2006). *Navihatsiine zabezpechennia viisk [Navigation support of troops]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Iatsenkov, V. S. (2005). *Osnovy sputnikovoi navigatsii. Sistemy GPS NAVSTAR i GLONASS [Basics of satellite navigation. GPS NAVSTAR and GLONASS systems]*. Moscow [in Russian].
3. Beloglazov, I. N. (2005). *Sistemy navigatsii i navedeniia po geofizicheskim poliam [Geophysical field navigation and guidance systems]*. Moscow [in Russian].
4. Veremeenko, K. K., Koshelev, B. V., & Solov'ev, Iu. A. (2010). Analiz sostoianiia razrabotok integrirovannykh inertsiial'no-sputnikovykh navigatsionnykh system [Analysis of the state of development of integrated inertial-satellite navigation systems]. *Novosti navigatsii [Navigation News]*, 4, 32–41 [in Russian].
5. Semenova, L. L. (2018). Sovremennye metody navigatsii bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Modern methods of navigation of unmanned aerial vehicles]. *Nauka i obrazovanie segodnia [Science and education today]*, 4 (27), 6–8 [in Russian].
6. Kuzovkov, N. T., & Salychev, O. S. (1982). *Inertsiial'naia navigatsiia i optimal'naia fil'tratsiia [Inertial navigation and optimal filtering]*. Moscow [in Russian].
7. Navigatsionnye sputnikovye sistemy mira [Navigation satellite systems of the world]. *Voennoe obozrenie [Military review]*. (2012, October 3). Retrieved from <http://topwar.ru/19529-navigacionnye-sputnikovye-sistemy-mira.html> [in Russian].
8. Shcherbinin, V. V. (2011). *Postroenie invariantnykh korreliatsionno-ekstremal'nykh sistem navigatsii i navedeniia letatel'nykh apparatov [Construction of invariant correlation-extreme systems of navigation and guidance of aircraft]*. Moscow [in Russian].
9. Antiufieiev, V. I., Bykov, V. M., & Hrichaniuk, A. M. (2006). Pryntsypy pobudovy vysokotochnoi systemy upravlinnia vysokoshvydkisnykh litalnykh aparativ [Principles of building a high-precision control system for high-speed aircraft]. *Sistemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapons systems and military equipment]*, 1, 7–12 [in Ukrainian].
10. Makarenko, S. I., Timoshenko, A. V., & Vasil'chenko, A. S. (2020). Analiz sredstv i sposobov protivodeistviia bespilotnym letatel'nym apparatam. Ch 1. Bespilotnyi letatel'nyi apparat kak ob'ekt obnaruzheniia i porazheniia [Analysis of means and methods of counteracting unmanned aerial vehicles. Part 1. Unmanned aerial vehicle as an object of detection and destruction]. *Sistemy upravleniia, sviazi i bezopasnosti [Control, communication and security systems]*, 1, 109–146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105 [in Russian].
11. Iasechko, M. N., Ochurenko A. V., Koval'chuk A. A., & Maksjuta D. V. (2015). Sovremennye radiotekhnicheskie sredstva bor'by s bespilotnymi letatel'nymi apparatami v zone provedeniia ATO [Modern radio-technical means of combating unmanned aerial vehicles in the ATO zone]. *Zb. nauk. prats Kharkiv. un-tu Povitrianykh Syl [Coll. Science works Kharkiv University of the Air Force]*, 3 (44), 54–57 [in Russian].
12. Scherbinin, V. V., Sviyazov, A. V., Smirnov, S. V., & Kvetkin, G. A. (2014). Autonomous navigation complex for ground and flying robotic vehicles. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 3 (152), 234–243.
13. Filippov, A. A., Bazhin, D. A., & Khlobystov, A. N. (2014). Improving Drone Aircraft Control Efficiency under Interference. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 73 (6). 45–50.

14. Jugaj, E. B. (05.03.2019). Sposob i sistema navigacii passazhirskogo drona v gornoj mestnosti [Method and system for navigation of a passenger drone in a mountainous area]. Patent RU № 219.016.D337; 2681278 C1. Retrieved from: <https://edrid.ru/rid/219.016.d337.html> [in Russian].
15. Baklitskii, V. K. (2009). *Korrelatsionno-ekstremal'nye metody navigatsii i navedeniia* [Correlation-extreme methods of navigation and guidance]. Tver' [in Russian].
16. Viiny droniv: vykorystannia bezpilotnykiv pid chas boiovykh dii u Nahirnomu Karabasi [Drone wars: the use of drones during the fighting in Nagorno-Karabakh]. (n.d.). Retrieved from: <https://www.radiosvoboda.org/a/30889212> [in Ukrainian].
17. Vizil'ter, Iu. V., Zheltov, S. Iu., & Bondarenko, A. V. et al. (2010). *Obrabotka i analiz izobrazhenii v zadachakh mashinnogo zreniia* [Image processing and analysis in machine vision tasks]. Moscow [in Russian].
18. Kahlefeldt, C. (January 2018). *Implementation and Evaluation of Monocular SLAM for an Underwater Robot*: Master's Thesis. Hamburg University of Technology, Hamburg.
19. Mur-Artal, R., Montiel, J. M. M., & Tardos, J. D. (2015). ORB-SLAM: a Versatile and Accurate Monocular SLAM System. In *IEEE Transactions on Robotics*, 31(5), 147–163. DOI: 10.1109/TRO.2015.2463671
20. Li, Y., Xie, C., Lu, H., Chen, X., Xiao, J., & Zhang, H. (August 2018). Scale-aware Monocular SLAM Based on Convolutional Neural Network. In *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*. August 2018. (pp. 51–56).
21. Kanevskyi, L. B., Povkh, M. S., & Shumskyi, S. M. (2020). Perspektyvy kombinovanoho vykorystannia vydovykh zasobiv povitriano-kosmichnoho bazuvannia dlia pidvyshchennia informatyvnosti rozviduvalnoho zabezpechennia viisk (syl) [Prospects for the combined use of species of air and space bases to increase the informativeness of reconnaissance troops (forces)]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony : nauk. zhurn. [Modern information technologies in the field of security and defense: Science magazine]*, 1 (37), 49–54. Kyiv: NUD of Ukraine [in Ukrainian].

L. B. Kanevsky, V. A. Pashinsky, O. S. Kolisnyk, N. A. Bedrii

METHOD OF ALLOCATION OF MOUNTING POINTS ON AEROPHOTOGRAPHS OBTAINED BY UNLIMITED AIRCRAFT FOR USE DURING THE CAR

A retrospective analysis of the use of unmanned aerial vehicles in the combat zone indicates a steady increase in the use of electronic warfare by the enemy, which reduces the effectiveness of reconnaissance flights of unmanned aerial vehicles, and in some cases leads to their loss. The article considers the prospects of creating and improving high-precision navigation systems, which is currently one of the priority areas for the development of unmanned aerial vehicles and relevant for ensuring high efficiency of unmanned aerial vehicles for both civil and military purposes.

To develop and study methods and algorithms for localizing the position of unmanned aerial vehicles based on terrain images obtained by non-identical surveying means, taking into account the influence of electronic warfare on it, the article primarily considers approaches to comparing earth surface images as the main information component. The next step is to assess

the correctness of the choice of informative parameters of the anchor points, where the mathematical model for their description and selection is the basis for the development of methods and algorithms for the formation of an autonomous navigation system for unmanned aerial vehicles.

Taking into account the research conducted in the work, it was proposed to implement on board the drone intelligent information and calculation system of autonomous navigation, the algorithm of which is based on the logical basis of the SIFT descriptor.

Thanks to the software implementation of the approaches proposed in the work and obtained on the basis of their experimental results, it is possible to develop and further improve methods of positioning unmanned aerial vehicles in space.

Keywords: *unmanned aerial vehicle complex; autonomous navigation of unmanned aerial vehicles; reference and current images; machine positioning method; SIFT descriptor-based binding algorithm.*

Н. М. Каращук, В. П. Манойлов, П. П. Мартинчук, С. О. Соболенко

ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПІДСИЛЕННЯ АНТЕН ДОВІЛЬНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ДЗЕРКАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Вимоги до характеристик і параметрів сучасних антен, особливо до електромагнітної сумісності, постійно зростають. Ефективне використання антенної техніки в теперішній час неможливе без розвитку та вдосконалення засобів і способів вимірювань електричних характеристик та параметрів. Експериментальне дослідження характеристик антен – найважливіший технологічний процес у ході їх розробки та виготовлення. Результати вимірювань характеристик антен дозволяють перевірити достовірність розрахунків та моделювання, правильність вибору конструкції і матеріалів, точність виготовлення, а також відповідність вимогам щодо електромагнітної сумісності. У статті проаналізовано чинні дзеркальні методи визначення характеристик антен еліптичної та колової поляризацій. На підставі аналізу (особливостей розглянутих методів) обґрунтовано необхідність їх удосконалення. Запропоновано структурну схему вимірювання коефіцієнта підсилення антени довільної поляризації дзеркальним методом. Вона відрізняється наявністю поляризаційного екрана із пінопластової прямокутної пластини, на яку нанесені тонкі металеві провідники, відстань між якими менше чверті довжини хвилі в повітрі. У склад схеми також входять: панорамний вимірювач коефіцієнта стоячої хвилі за напругою, індикатор, узгоджувальний трансформатор, досліджувана антена, дзеркальне зображення антени. Вимірювання коефіцієнта підсилення проведено з урахуванням його зв'язку із діаграмою спрямованості антени. Наведено розрахункові та експериментально зняті графіки діаграм спрямованості антен колової поляризації в площинах E та H відповідно: прямокутного хвилеводу із круглими щілинами та квадратної рупорної антени з діелектричною пластиною, на якій із двох сторін нанесено неоднорідні щілинні лінії. Порівняння результатів розрахунків та експерименту показали можливість застосування методу дзеркального зображення для вимірювання характеристик антен із коловою поляризацією. Особливістю удосконаленого дзеркального методу вимірювання коефіцієнта підсилення є те, що напрямок обертання вектора напруженості електричного поля за відбиття не змінюється на протилежний, не потрібно вимірювати параметри поляризаційного еліпса, не має значення, яким чином забезпечується збудження електромагнітної хвилі обертової поляризації, можна вимірювати параметри антен лінійної поляризації.

Ключові слова: дзеркальний метод; колова поляризація; круглі щілини; поляризаційний екран; коефіцієнт підсилення.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Теорія і техніка вимірювання параметрів та характеристик антен й антенних пристроїв є одним із напрямків у техніці надвисоких частот, що достатньо швидко розвивається. Актуальні завдання © Н. М. Каращук, В. П. Манойлов, П. П. Мартинчук, С. О. Соболенко, 2021

вдосконалення методів вимірювання характеристик антенних систем набувають особливої значущості для розробки (вдосконалення) систем військового призначення, які повинні забезпечувати підвищену завадозахищеність, зменшення радіолокаційної помітності та виконання вимог електромагнітної сумісності [1, 2]. Відмінність антенних систем, як об'єктів вимірювання, обумовлена різноманіттям габаритних показників, конструктивними особливостями, характеристиками направленості, частотним діапазоном, відповідними доступними методами (методиками). На початковому етапі планування необхідно обрати метод вимірювання характеристик антени (або сукупності антен) у заданих умовах та визначити склад і структуру комплексу, який здатний його реалізувати. На сьогодні для проведення антенних вимірювань розроблено цілу низку методів, класифікацію яких наведено в [3–5]. Вибір того чи іншого методу зумовлений багатьма чинниками: частотним діапазоном, направленістю і масогабаритними параметрами досліджуваної антени, видами і необхідною точністю вимірювальних характеристик. Кожен з методів має переваги, недоліки й обмеження, зокрема, за точністю [5]. Тому розгляд питання усунення залежності точності вимірювання параметрів антени дзеркальним методом від виду поляризації електромагнітної хвилі (ЕМХ) є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із найбільш поширених методів вимірювання коефіцієнта підсилення антен є метод дзеркальних зображень [6, 7]. Проте його застосування для антен, які мають еліптичну поляризацію електромагнітного поля, має труднощі через те, що за відбиття від плоского металевго екрана напрямок обертання вектора напруженості електричного поля змінюється на протилежний [8]. Запропонований у роботі [9] метод вимірювання коефіцієнта підсилення антен колової поляризації доцільний тільки для обмеженого типу антен, колова поляризація поля випромінювання яких забезпечується фазуючою секцією. Крім того, його недоліком є необхідність вимірювання параметрів поляризаційного еліпса, що зумовлює додаткові похибки.

Тому постає необхідність модифікації дзеркального методу вимірювання коефіцієнта підсилення, що дозволить усунути вказані вище недоліки.

Формулювання завдання дослідження. Необхідно удосконалити дзеркальний метод вимірювання коефіцієнта підсилення антен шляхом застосування поляризаційного екрана із пінопластової прямокутної пластини, на яку нанесені тонкі металеві провідники, відстань між якими менше чверті довжини хвилі. У такому разі напрямок обертання вектора напруженості електричного поля не змінюється за відбиття, немає необхідності вимірювати параметри поляризаційного еліпса та не важливо, яким чином створюється обертова поляризація в антені.

Виклад основного матеріалу. Структурну схему установки для вимірювання коефіцієнта підсилення антени довільної поляризації наведено на рис.1. Вона складається із панорамного вимірювача коефіцієнта стоячої хвилі за напругою 1, індикатора 2, узгоджувального трансформатора 3, досліджуваної антени 4, поляризаційного екрана 5 та дзеркального зображення антени 4'. Для проведення вимірювань антена 4 узгоджується із лінією передачі за допомогою трансформатора 3.

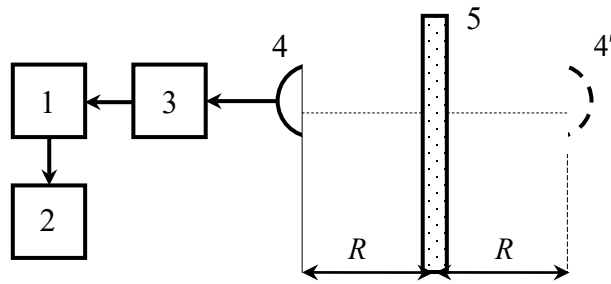


Рис. 1. Структурна схема вимірювання коефіцієнта підсилення антени довільної поляризації дзеркальним методом

Потім у поле випромінювання антени 4 встановлюється поляризаційний екран 5 та реєструється величина коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН) за допомогою індикатора 2. Поляризаційний екран 5 – це пінопластова прямокутна пластина, на яку нанесені тонкі металеві провідники, паралельні одній зі сторін листа, крім того, відстань між провідниками менше $\lambda/4$.

Оскільки дзеркальне зображення антени 4 (4') знаходиться в площині симетрії поляризаційного екрана 5, то потужність, яка приймається, дорівнює [10]

$$P_2 = \left(\frac{\lambda}{8\pi R} \right)^2 P_1 G^2, \quad (1)$$

де P_1 , P_2 – потужності випромінювання та приймання, Вт;

R – відстань між антеною та центром екрана, м;

G – коефіцієнт підсилення антени, разів (дБ).

Коефіцієнт підсилення антени пов'язаний із коефіцієнтом спрямованої дії (КСД) D таким чином [10]:

$$G = D \cdot \eta, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії антени.

Із виразів (1) та (2) можна отримати розрахункову формулу для величини D , вважаючи, що $\eta = 1$:

$$D = \frac{8\pi R}{\lambda} G, \quad (3)$$

де G – коефіцієнт відбиття в лінії передачі.

Коефіцієнт відбиття G за модулем пов'язаний із КСХН формулою [11]

$$КСХН = \frac{1 + |G|}{1 - |G|}. \quad (4)$$

КСД антени вимірюється в такий спосіб: антена узгоджується з лінією передачі та визначається величина КСХН; вноситься поляризаційний екран та здійснюється його повертання в напрямку максимального випромінювання. За допомогою індикатора 2 реєструється величина КСХН. Далі, використовуючи (4), можна отримати величину Γ_1 :

$$\Gamma_1 = \frac{\lambda}{8\pi R} D_1, \quad (5)$$

де D_1 – КСД антени на малій осі поляризаційного еліпса.

Аналогічно реєструється максимальний коефіцієнт відбиття Γ_2 :

$$\Gamma_2 = \frac{\lambda}{8\pi R} D_2, \quad (6)$$

де D_2 – КСД антени на великій осі поляризаційного еліпса.

Користуючись виразами (5) та (6), можна розрахувати КСД антени:

$$D_1 + D_2 = \frac{8\pi R}{\lambda} (\Gamma_1 + \Gamma_2). \quad (7)$$

Розглянутий підхід виправданий за відсутності перевідбиттів між досліджуваною антеною та поляризаційним екраном. Використовуючи відомий зв'язок величини коефіцієнта підсилення антени з її діаграмою спрямованості [11], розглянемо його на прикладі двох антен.

Для практичної перевірки результатів вимірювання коефіцієнта підсилення антен були використані дві антени колової поляризації: прямокутний хвилевід із круглими щілинами та квадратна рупорна антена з діелектричною пластиною, на якій із двох сторін нанесено неоднорідні щілинні лінії.

Розглянемо діаграми спрямованості кожної з антен в Е та Н площинах.

Відомо, що в прямокутному хвилеводі із хвилею типу H_{10} є складові напруженості магнітного поля H_x та H_z , зсунуті за фазою на $\pi/2$ [10] (рис. 2).

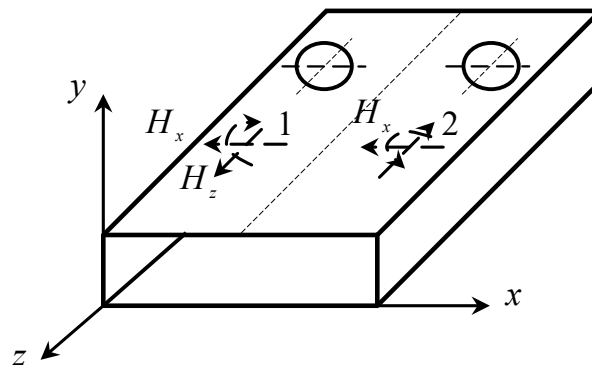


Рис. 2. Прямокутний хвилевід із круглими щілинами

У поперечному перетині хвилеводу на його широкій стінці можна знайти дві точки, у яких амплітуди складових напруженості магнітного поля H_x та H_z рівні. Ці точки розташовані симетрично відносно середини широкої стінки хвилеводу. Наявність у них на

внутрішній поверхні широкої стінки хвилеводу двох рівних за модулем перпендикулярних складових H_x та H_z , зсунутих за фазою на $\pi/2$, означає, що сумарне магнітне поле в них має колову поляризацію. Відповідно, складова H_z , у разі переходу від однієї точки до іншої, змінює знак на протилежний. Це означає, що напрямок обертання сумарного вектора магнітного поля в одній точці буде протилежним напрямку обертання цього вектора в іншій. Якщо в широкій стінці хвилеводу прорізати дві хрестоподібні чи круглі щілини, то можна стверджувати, що поле випромінювання близьке до поля випромінювання перпендикулярних вібраторів. Такі щілини, у разі приймання хвилі еліптичної поляризації, розкладають на дві хвилі з коловою поляризацією правого та лівого напрямку обертання. На базі цих щілин будують аналізатори поляризаційної структури поля. На рис. 3 наведено результати розрахунків та вимірювань діаграми спрямованості (ДС) круглих щілин 1 та 2 (рис. 2), прорізаних у прямокутному хвилеводі, на середній частоті діапазону 10 ГГц.

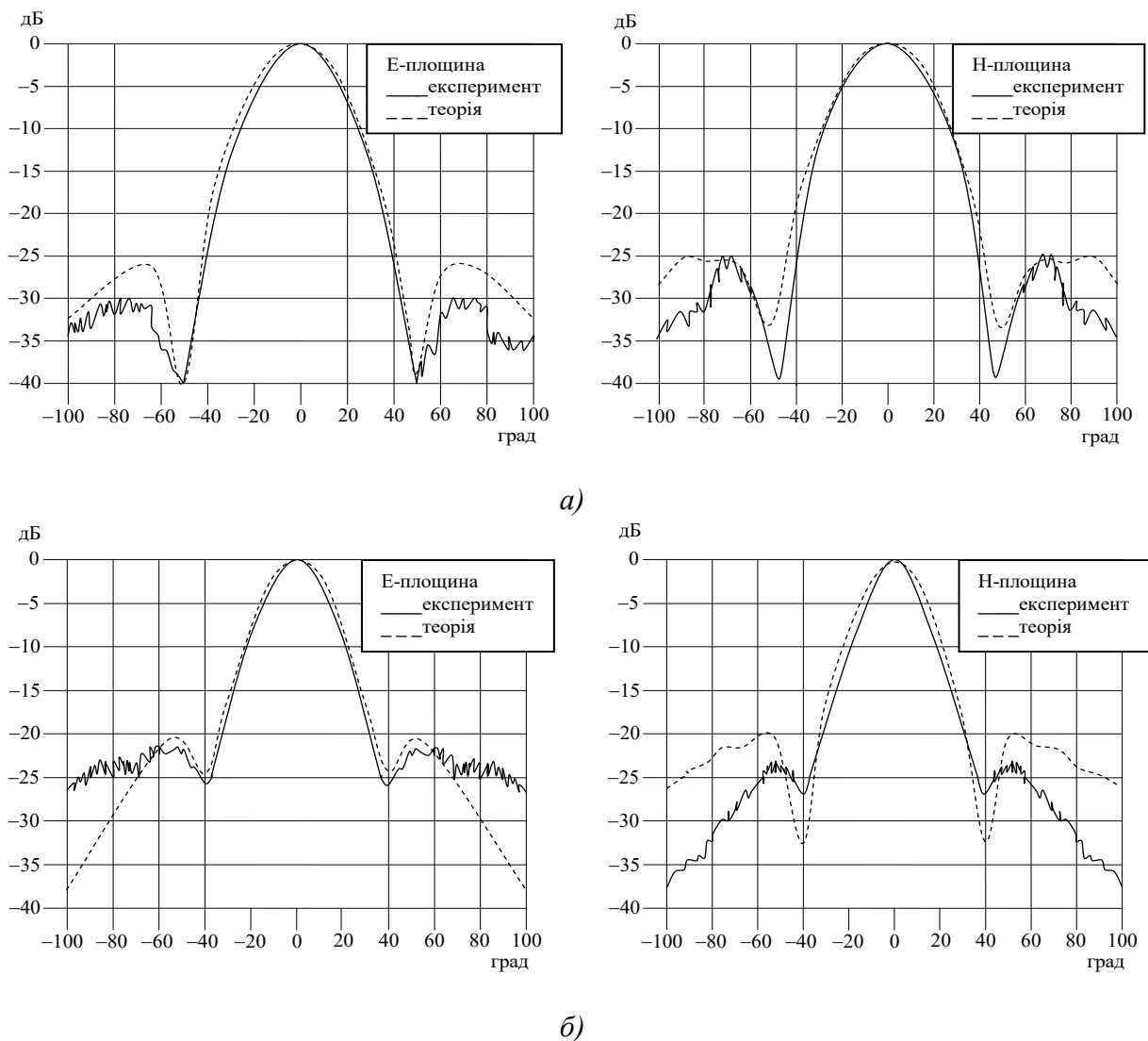


Рис. 3. Діаграми спрямованості круглих щілин, прорізаних у прямокутному хвилеводі: а) 1; б) 2

Другий випромінювач колової поляризації поля [12] зображений на рис. 4. Квадратна рупорна антена колової поляризації, що містить послідовно встановлений відрізок квадратного хвилеводу (1), у складі якого є рухомий короткозамикач (2) та коаксіальний

збуджувач (3), квадратний рупор (4), який відрізняється тим, що має всередині діелектричну пластину (5), розміщену під кутом 45° відносно квадратного хвилеводу (5), на якій із двох сторін нанесені неоднорідні щілині (6) та (7), що виходять за край пластини (5) на відстань, рівну $\lambda_x/8$ (λ_x – довжина хвилі у хвилеводі, м), а біля кінців щілин перпендикулярно їх площині розташована коаксіальна лінія збудження (3).

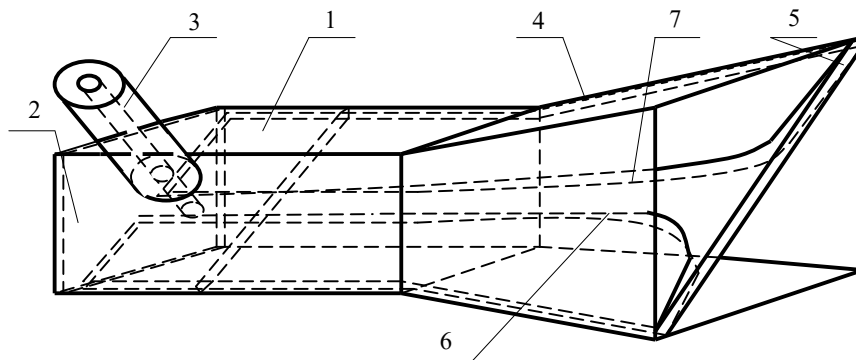


Рис. 4. Квадратна рупорна антена колової поляризації з діелектричною пластиною, на якій із двох сторін нанесені неоднорідні щілинні лінії

На рис. 5 показані теоретичні та експериментальні залежності ДС квадратної рупорної антени з діелектричною пластиною з відносною діелектричною проникністю $\epsilon = 5$, на якій із двох сторін нанесені неоднорідні щілинні лінії.

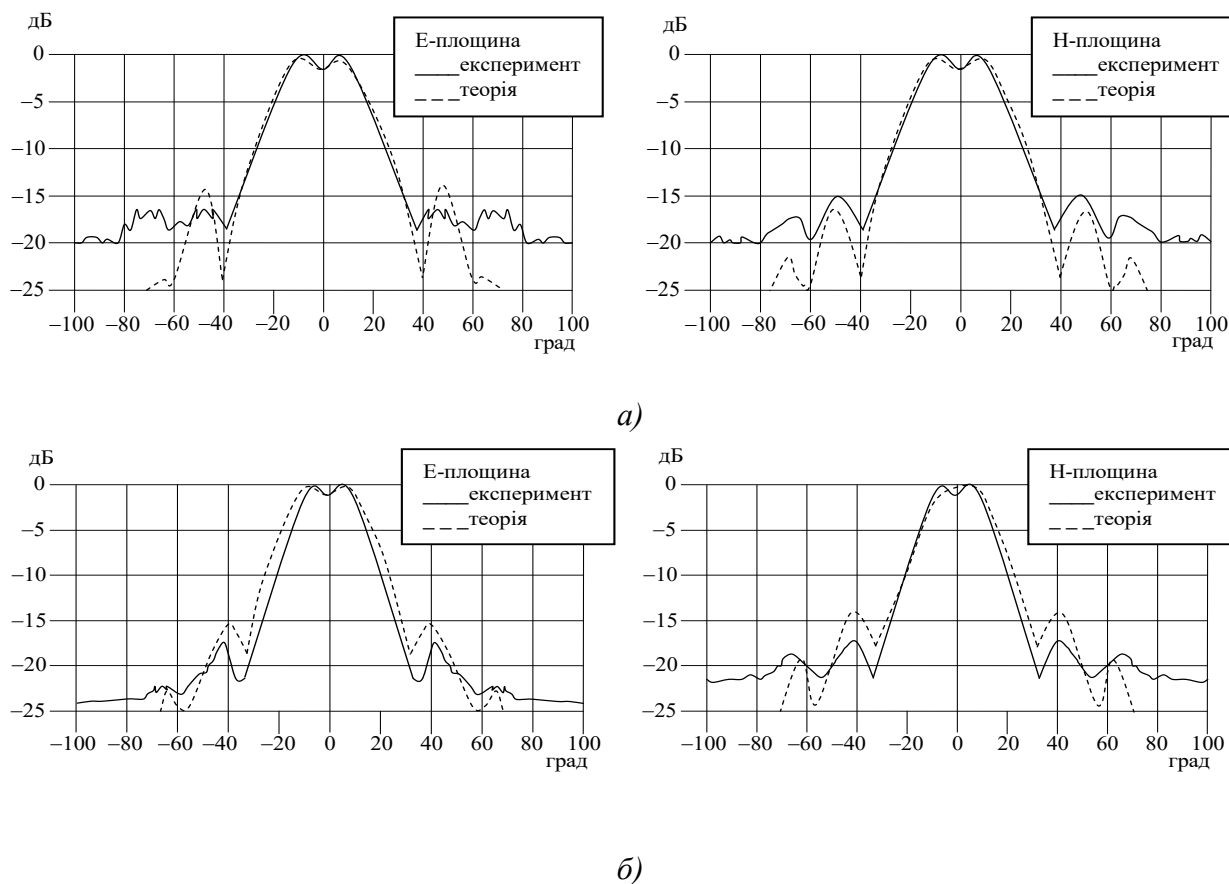


Рис. 5. Діаграми спрямованості квадратної рупорної антени: а) на частоті 10 ГГц; б) на частоті 14 ГГц

Розрахунок такої антени можна провести з використанням робіт [13, 14]. Ширина основної пелюстки ДС (на рівні -3 дБ) становить 30°. Для більш точного визначення величини КСХН можна використовувати метод неузгодженого подвійного трійника, що розглянуто в [15].

Порівняння результатів розрахунків та експерименту показали можливість застосування методу дзеркального зображення для вимірювання характеристик антен із коловою поляризацією.

Висновки. Запропоновано вдосконалений дзеркальний метод вимірювання коефіцієнта підсилення антен шляхом застосування поляризаційного екрана із пінопластової прямокутної пластини, на яку нанесені тонкі металеві провідники, відстань між ними менше чверті довжини хвилі.

Переваги вдосконаленого дзеркального методу:

напрямок обертання вектора напруженості електричного поля не змінюється за відбиття;

немає необхідності вимірювати параметри поляризаційного еліпса;

не важливо значення, яким чином створюється обертова поляризація в антені;

можна вимірювати параметри та характеристики антен із будь-якою поляризацією.

Отримані результати вимірювання ДС прямокутного хвилеводу із круглими щілинами та квадратної рупорної антени з діелектричною пластиною, на якій із двох сторін нанесені неоднорідні щілинні лінії, несуттєво відрізняються від розрахункових. Це підтверджує достатньо високу точність дослідження.

Практична значущість отриманих результатів полягає в можливості достатньо точного вимірювання параметрів та характеристик антен будь-якої поляризації вдосконаленим дзеркальним методом.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Кузавков В. В., Зарубенко А. О. Оцінка можливості зміни конструктиву встановлення та налаштування антен супутникового зв'язку // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист : зб. наук. праць. Київ : ДУ ІГНС НАН України, 2017. № 1 (7). С. 69–74.
2. Кузавков В. В., Зарубенко А. О. Алгоритм розрахунку характеристик антени супутникового зв'язку в ближній зоні сферичним методом вимірювання // Зб. наук. праць ВІПІ. Київ, 2019. № 3. С. 33–47.
3. Near-field vs Far-field. (Reprinted with the permission of Nearfield Systems Inc.) URL: <http://educyclopedia.karadimov.info/library/NSI-near-far.pdf> (last accessed: 07.04.2021).
4. Fordham J. A. An introduction to antenna test ranges, measurements and instrumentation (Microwave Instrumentation Technologies, LLC). URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.9981&rep=rep1&type=pdf> (last accessed: 07.04.2021).
5. Parini C., Gregson S., Mc Cormic J., Daniel J. Theory and Practice of Modern Antenna Range Measurements. Electromagnetic waves series. Institution of Engineering and Technology (eBooks) 2014. 799 p. DOI: 10.1049/PBEW055E. e-ISBN: 9781849195638
6. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Измерения параметров антенно-фидерных устройств. Москва : Связь, 1972, 362 с.

7. Методы измерений характеристик антенн СВЧ / Л. Н. Захарьев, А. А. Леманский, В. В. Турчин и др. Москва : Радио и связь, 1983. 230 с.
8. Жук М. С., Молочков Ю. Б. Проектирование линзовых, сканирующих широкодиапазонных антенн и фидерных устройств. Москва : Энергия, 1973. 490 с.
9. Шубарин Ю. В., Волошин В. А. Метод измерения коэффициента усиления антенн круговой поляризации // Радиотехника и электроника. 1966. Т. 11. С. 1870–1872.
10. Драбкин А. А., Зузенко В. Л., Кислов А. Г. Антенно-фидерные устройства. Москва : Сов. радио, 1974. 536 с.
11. Каращук Н. М., Манойлов В. П., Нікітчук Т. М., Чухов В. В. Рупорна антена на основі заграничного прямокутного хвилеводу із частковим діелектричним заповненням та петлею зв'язку // Технічна інженерія. Житомир : Житомирська політехніка, 2020. № 1 (85). С. 177–183.
12. Штейншлейгер В. Б. Измерения на высоких частотах. Москва : Сов. радио, 1952. 297 с.
13. Манойлов В. П., Морозов Д. С., Каращук Н. М. Рупорна антена кругової поляризації : патент 117152 Україна. Н1913/02 ; № Q2016 07072 ; заявл. 29.06.2016 ; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12. 4 с.
14. Антена Вівальді на основі симетричних щілинних ліній / Н. М. Каращук, В. П. Манойлов, Д. С. Морозов, О. Л. Сидорчук // Вісник ННТУ КПП. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2018. № 73. С. 5–11.
15. Моделирование и экспресс-методика измерения ЭПР рупорных антенн / О. Л. Кореновская, В. Ф. Манойлов., Д. С. Морозов и др. // Вісник ННТУ КПП. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2015. № 62. С. 31–40.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2021.

REFERENCES

1. Kuzavkov, V. V., & Zarubenko, A. O. (2017). Otsinka mozhlivosti zminy konstruktyvu vstanovlennia ta nalashtuvannia anten suputnykovoho zv'iazku [Assess the possibility of changing the design of installation and configuration of satellite antennas]. *Tekhnohennno-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyi zakhyst : zb. nauk. prats [Technogenic and ecological safety and civil protection : Collection of scientific works]*, 1 (7), 69–74. Kyiv [in Ukrainian].
2. Kuzavkov, V. V., & Zarubenko, A. O. (2019). Alhorytm rozrakhunku kharakterystyk anteny suputnykovoho zv'iazku v blyzhnii zoni sferychnym metodom vymiriuvannia [Algorithm for calculating the characteristics of a satellite antenna in the near zone by a spherical method of measurement]. *Zb. nauk. prats VITI [Collection of scientific works of Military Institute of Telecommunications and Information Technologies]*, 3, 33–47. Kyiv [in Ukrainian].
3. *Near-field vs Far-field. (Reprinted with the permission of Nearfield Systems Inc.).* (n.d.). Retrieved from <http://educyclopedia.karadimov.info/library/NSI-near-far.pdf>
4. Fordham, J. A. (n.d.). *An introduction to antenna test ranges, measurements and instrumentation (Microwave Instrumentation Technologies, LLC).* Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.9981&rep=rep1&type=pdf>

5. Parini, C., Gregson, S., Mc Cormic, J., & Daniel, J. (2014). *Theory and Practice of Modern Antenna Range Measurements. Electromagnetic waves series. Institution of Engineering and Technology (eBooks)*. DOI: 10.1049/PBEW055E. e-ISBN: 9781849195638
6. Fradin, A. Z., & Ryzhkov, E. V. (1972). *Izmereniia parametrov antenno-fidernykh ustroystv* [Measurements of parameters of antenna-feeder devices]. Moscow [in Russian].
7. Zakhar'ev, L. N., Lemanskii, A. A., & Turchin, V. V. et al. (1983). *Metody izmerenii kharakteristik antenn SVCh* [Methods for measuring the characteristics of microwave antennas]. Moscow [in Russian].
8. Zhuk, M. S., & Molochkov, Iu. B. (1973). *Proektirovanie linzovykh, skaniruiushchikh shirokodiapazonnykh antenn i fidernykh ustroystv* [Design of lens, scanning broadband antennas and feeder devices]. Moscow [in Russian].
9. Shubarin, Iu. V., & Voloshin, V. A. (1966). Metod izmereniia koeffitsienta usileniia antenn krugovoi poliarizatsii [Method for measuring the gain of circular polarized antennas]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio engineering and electronics], Vol. 11, 1870–1872 [in Russian].
10. Drabkin, A. A., Zuzenko, V. L., & Kislov, A. G. (1974). *Antenno-fidernye ustroystva* [Antenna feeder devices]. Moscow [in Russian].
11. Karashchuk, N. M., Manoilov, V. P., Nikitchuk, T. M., & Chukhov, V. V. (2020). Ruporna antena na osnovi zahranychnoho priamokutnoho khvylevodu iz chastkovym dielektrychnym zapovnenniam ta petleiu zv'iazku [Horn antenna based on foreign rectangular waveguide with partial dielectric filling and communication loop]. *Tekhnichna inzheneriia* [Technical engineering], 1 (85), 177–183. Zhytomyr : Zhytomyr polytechnic [in Ukrainian].
12. Shteinshleiger, V. B. (1952). *Izmereniia na vysokikh chastotakh* [High frequency measurements]. Moscow [in Russian].
13. Manoilov, V. P., Morozov, D. S., & Karashchuk, N. M. (2018). *Ruporna antena kruhovoii poliarizatsii* [Horn antenna of circular polarization] : patent 117152 Ukraine. H1913/02; № Q2016 07072; stated 29.06.2016; published 25.06.2018, Bulletin № 12. 4 p. [in Ukrainian].
14. Karashchuk, N. M., Manoilov, V. P., Morozov, D. S., & Sydoruk, O. L. (2018). Antena Vivaldi na osnovi symetrychnykh shchilynykh linii [Vivaldi antenna based on symmetrical slit lines]. *Visnyk NNTU KPI. Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannia* [Bulletin of NNTU KPI. Radio Engineering. Radioengineering], 73, 5–11 [in Ukrainian].
15. Korenovskaia, O. L., Manoilov, V. F., & Morozov, D. S. et al. (2015). Modelirovanie i ekspress-metodika izmereniia EPR rupornykh antenn [Modeling and express-method for measuring EPR of horn antennas]. *Visnyk NNTU KPI. Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannia* [Bulletin of NNTU KPI. Radio Engineering. Radioengineering], 62, 31–40 [in Russian].

N. N. Karashchuk, V. P. Manoilov, P. P. Martynchuk, S. O. Sobolenko

MEASUREMENT OF ANTENNA GAIN OF ANY POLARIZATION BY MIRROR METHOD

Requirements to characteristics and parameters of modern aerials, especially to electromagnetic compatibility, constantly grow. The effective utilisation of antenna technics is impossible now without development and perfection of means and ways of measurement of electric characteristics and parameters. Experimental study of antenna characteristics is the

most important technological process during their development and manufacture. Results of measurements of characteristics of aerials allow to check up reliability of calculations and modelling, correctness of a choice of a design and materials, accuracy of manufacturing, and also conformity to requirements of electromagnetic compatibility. The article analyzes the current mirror methods for determining the characteristics of elliptical and circular polarization antennas. On the basis of the analysis (features of the considered methods) necessity of their perfection is proved. The block diagramme of measurement of factor of strengthening of the aerial of any polarisation is offered by a mirror method. It is distinguished by the presence of a polarizing screen with a rectangular foam plate on which thin metal conductors are applied, the distance between which is less than a quarter of the wavelength in air. The circuit also includes: a panoramic voltage standing wave ratio meter, an indicator, a matching transformer, an antenna for research, a mirror image of the antenna. Measurement strengthening factor is spent taking into account its communication with the diagramme of an orientation of the aerial. The settlement and experimentally removed schedules of diagrammes of an orientation of aerials of circular polarisation in planes E and H accordingly are resulted: rectangular wave guide with round cracks and square aerials with a dielectric plate on which from two parties non-uniform slot-hole lines are put. Comparison of the calculation and experimental results showed the possibility of using the mirror image method to measure the characteristics of circularly polarized antennas. Feature of an advanced mirror method of measurement of factor of strengthening is that the direction of rotation of a vector of intensity of electric field at reflexion does not change on opposite, it is not necessary to measure parametres of a polarising ellipse, has no value how excitation of an electromagnetic wave of rotating polarisation is provided, you can measure the parameters of antennas with linear polarization.

Keywords: *a mirror method, circular polarisation; round cracks; the polarising screen; strengthening factor.*

О. В. Кобзар, М. В. Мусієнко

ТОПОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИМИ СИЛАМИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті розглянуто проблематику створення операційної системи автоматизованої системи управління Військово-Морськими Силами Збройних Сил України щодо особливостей сценаріїв її навантаження відповідно до умов навколишньої обстановки.

Сучасні технічні рішення, які реалізують найпередовіші розробки науки та техніки стосовно побудови сучасних автоматизованих систем управління, за своїм змістом не охоплюють оцінювання здатності наявних операційних систем, як базового комплексу взаємопов'язаних програм, для повноцінного здійснення управління апаратною складовою системи управління, забезпечення керування обчислювальним процесом й організації її взаємодії з користувачами.

Операційна система в режимі реального часу автоматизованої системи управління Військово-Морських Сил України повинна мати гібридне ядро, що реалізовуватиме зв'язок між прикладними процесами та апаратним забезпеченням, базовий набір програм, бібліотеки системи та програми обслуговування.

Перевагами цієї конкретної архітектури повинні бути: підвищена надійність, покращена масштабованість, посилена відмовостійкість та інші.

Особливу увагу було акцентовано на архітектурі операційної системи реального часу, тобто типі операційної системи, основним призначенням якої є надання необхідного та достатнього набору функцій для проектування, розробки і функціонування систем реального часу на конкретному апаратному обладнанні, у нашому випадку в умовному центрі обробки даних та її підсистем (відповідного рівня) автоматизованої системи управління Військово-Морськими Силами Збройних Сил України.

У перспективі слід розглянути практичні заходи з формування оперативнотактичних вимог до операційної системи реального часу із подальшим прийняттям її на озброєння.

Ключові слова: *автоматизована система управління; операційна система; електронно-обчислювальна техніка; персональний комп'ютер; реальний час; програмне забезпечення; Військово-Морські Сили Збройних Сил України.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. На сьогодні загальновизнаним є той факт, що основним шляхом суттєвого підвищення ефективності управління Збройними Силами (ЗС) України є створення та впровадження в дію Єдиної автоматизованої системи управління (ЄАСУ) ЗС України та автоматизованих систем управління (АСУ) її базових складових (підсистем). Саме такий напрямок був чітко обґрунтований в Державній програмі розвитку ЗС України і відповідній галузевій програмі. Понад те, відповідно до

© О. В. Кобзар, М. В. Мусієнко, 2021

чинного на даний час Стратегічного оборонного бюлетеня України [1], стратегічною метою є створення ефективної системи управління С4ISR (управління та контроль на базі зв'язку як сервісу та комп'ютерної обробки даних, а саме поточної інформації, даних спостереження та розвідки), а також єдиної інформаційної системи управління оборонними ресурсами.

Разом з тим створення окремих елементів ЄАСУ ЗС України здійснюється вже протягом більше двадцяти років. За цей час було виконано низку науково-дослідних (НДР) та дослідно-конструкторських (ДКР) робіт, зміст яких був безпосередньо спрямований на вирішення даного питання, проводилися обґрунтування і розробка Концепції та Комплексної програми створення ЄАСУ ЗС України, розроблялися відповідні програми для складових підсистем ЄАСУ ЗС України та здійснювалися інші заходи. Але результати практичного проведення робіт засвідчили їхню вкрай низьку наукову ефективність. Так, науково-дослідними установами ЗС України, установами Національної академії наук України та промисловими підприємствами виконувалося понад 100 НДР і понад 40 ДКР з тематики ЄАСУ ЗС України. На жаль, лише близько 20% зазначених робіт дійшли до стадії виготовлення дослідних зразків, дослідної експлуатації та державних випробувань, а близько 80% з них не знайшли свого впровадження, тому були призупинені ще на різних етапах виконання: ескізного та технічного проектування (40%), розробки конструкторської документації (40%) [2].

Більш того, якщо, згідно з повідомленнями у відкритих джерелах інформації, протягом останнього часу вже створені інформаційно-аналітичні системи управління організаційно-штатною структурою, моніторингу і планування оборонних ресурсів, моделювання перспективних військових формувань та організаційних заходів щодо реалізації директив, створення і розвитку озброєння та військової техніки, тобто частково реалізовано автоматизацію необхідних видів діяльності органів військового управління з підготовки до війни в мирний час, то відносно складових підсистем ЄАСУ ЗС України триває пошук та спостерігається невизначеність [2].

Узагалі над створенням АСУ військами вчені активно працювали ще за часів холодної війни як у США, так і в колишньому СРСР, зокрема, була створена АСУ “Маневр” тактичного рівня (дивізія-полк). У свою чергу, у США в 90-х роках минулого століття було вперше створено комп'ютеризовану версію АСУ “Бойові системи майбутнього” (Future Combat Systems – FCS), проте через її складність на озброєння вона прийнята не була. Під час бойових дій в Іраку США використовували менш складні АСУ, наприклад “Спільну бойову командну платформу” (Joint Battle Command Platform), орієнтовану на управління бронетехнікою та артилерією. Сьогодні Пентагон активно працює на випередження, створюючи чергові ефективніші версії АСУ [3].

Також відомо про успішні розробки та впровадження військових АСУ і в країні, що здійснює агресію проти України. Передусім ідеться про російську АСУ “Акація-М” (мала бути поставлена на озброєння ще до кінця 2019 року), а також єдину систему управління (ЄСУ) “Созвездие-М2” управління тактичною ланкою та ЄСУ “Андромеда-Д” управління оперативно-тактичною ланкою. Передбачається, що всі вони працюватимуть в онлайн-режимі для максимального зменшення часу обміну інформацією між центром управління та іншими ланками мережі (підрозділи, засоби розвідки, спостереження тощо). Початок оснащення ЗС РФ новими АСУ заплановано на 2025 рік. За деякими даними, програмно-

апаратний комплекс зазначених АСУ буде здатний працювати у разі масованих кібератак та навіть високих рівнів радіації [3].

Оскільки ЗС України мають потенційно застарілу базу створення АСУ, що особливо гостро відчувається в даний час, то оновлення системи управління та контролю (за специфікацією НАТО – С2) стало одним із пріоритетних завдань. Декілька років тому вже повідомлялося про застосування в тестовому режимі окремих інформаційних систем різного рівня, наприклад, “Дельта”, “Кропива”, “Віраж-планшет”, “ГІС Арта” та інших, але в практичній площині продовжує спостерігатися відома вада вітчизняної військової науки – відірваність від практики, що саме й підтверджується масовим використанням у військах цілої низки волонтерських розробок, які аж ніяк не відповідають рівню управління ЗС України в цілому. Разом з тим, починаючи з 2019 року, активізувалися роботи зі створення та взяття на озброєння ЗС України базових АСУ, зокрема управління військами “Дзвін-АС”, АСУ окремих видів ЗС України, у тому числі АСУ тактичної ланки Сухопутних військ ЗС України “Простір”, АСУ авіацією та протиповітряної оборони “Ореанда ПС”, які в основному, як повідомляється, наближені до вимог, стандартів і принципів системи С4ISR НАТО.

На погляд авторів, якщо відносно апаратної частини ЄАСУ ЗС України та складових її підсистем вже є досить виважена узгодженість наукових поглядів щодо їх створення та застосування, то стосовно базових комплексів та компонентів, які здійснюють керування електронно-обчислювальною технікою (ЕОТ) і забезпечують керування обчислювальним процесом, організовують взаємодію з користувачами, у нашому випадку з операційними системами (ОС), спостерігаємо певний вакуум, що змушує застосовувати тільки ті компоненти та програмне забезпечення (ПЗ), які пропонують виробники ЕОТ, здебільшого нав'язане постачальниками апаратної складової підсистем ЄАСУ ЗС України.

Тема цієї наукової статті перебуває в площині дослідження напрямків створення ОС реального часу (ОСРЧ) для потреб АСУ Військово-Морських Сил (ВМС) ЗС України щодо особливостей її майбутнього застосування в разі різноманітних сценаріїв навантаження.

Необхідність створення сучасної АСУ ВМС ЗС України з ОСРЧ, як підсистеми ЄАСУ ЗС України, викликана часом, обстановкою, яка склалася, та є, на наш погляд, одним із першочергових завдань. На превеликий жаль, роботи зі створення видової АСУ ВМС ЗС України на сьогодні перебувають у зародковому стані й фактично ще не розпочиналися, тому завданням її розробників має стати врахування усіх особливостей та передових технологій з метою її реального, ефективного та результативного застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій із зазначеної проблематики вказує на те, що на даний час є досить велика кількість матеріалів досліджень та публікацій стосовно розвитку ОС, АСУ та телекомунікаційних мереж загального користування. Безумовно, здебільшого вони стосуються цивільних сфер застосування, а не спеціального військового призначення, над якими активно працюють в США, Німеччині, Великій Британії, Італії, Франції, Японії та інших країнах, де їх розглядають як наукові об'єкти, що становлять національне надбання, втрата або руйнування яких матиме серйозні негативні наслідки для розвитку науки та суспільства.

Цілком доступними і базовими для вивчення можуть бути наукові матеріали закордонних вчених та дослідників: А. Портера “Основні принципи автоматичних систем

управління” [4], А. Шоу “Логічне проектування операційних систем” [5], Е. Таненбаума “Сучасні операційні системи” [6], Р. Дорфа та Р. Бішопа “Сучасні системи управління”, – які сформулювали основні методи аналізу і синтезу сучасних АСУ, ОС та показали, як з використанням принципу зворотного зв’язку можуть бути створені системи управління різноманітного призначення [7].

Проблематиці реформування системи управління, її автоматизації та побудові моделі ЄАСУ ЗС України присвятили свої дослідження, розробки та відкриті публікації вітчизняні науковці: С. Дружинін, О. Климович, О. Саєнко [8], П. Клімушин, В. Кротов [9], Ю. Кучеренко [10], О. Садиков, І. Васюков, Є. Прокопенко [11] тощо.

Формулювання завдання дослідження. Зважаючи на той факт, що перші комп’ютери взагалі не мали ОС і комплектувалися тільки набором інструментів для розробки, планування та виконання завдань, до цього часу спостерігається спонтанний і неузгоджений характер розробки і застосування ОС. Навіть у наш час спостерігаються явища, пов’язані передусім зі складністю та завищеними розмірами розроблених систем та, як наслідок, із проблемами їх масштабування, коли складні ОС не є оптимальними або ж взагалі вони не в змозі застосовуватися на менш потужних системах. Відповідно, простіші ОС також можуть бути не спроможні повністю використовувати всі можливості та потужності обчислювальних систем, на яких вони встановлюються і застосовуються.

ОС загального призначення не є детермінованими, тому їх сервіси можуть цілком допускати раптові затримки в своїй роботі, що може призвести до збільшення часу реакції програм на дії користувача в будь-який момент часу. У ході розроблення звичайних ОС науковці не акцентують своєї уваги на математичній складовій обчислення часу, який потрібно на виконання конкретного завдання або сервісу.

Вітчизняні споживачі, зокрема і користувачі АСУ ЗС України, звикли до відомих ОС Microsoft Windows (версій XP, Vista, 7, 8, 8.1, 10), Windows Server (2000, 2003, 2008, 2012), у більш технологічних апаратно-програмних комплексах і системах широко застосовуються ОС сімейства Apple (Mac OS X / OS X: версій від 10.0 до 10.7, Mountain Lion (10.8), Mavericks (10.9), Mac OS Server) або GNU/Linux, що сумісні з широким спектром комп’ютерів та архітектур. У мобільних пристроях успішно експлуатуються ОС корпорацій Google (Android, Fuchsia), Apple (iOS), Samsung (Tizen, Bada), Microsoft (Windows CE, різноманітні варіації Windows Mobile) тощо. Загалом станом на кінець 2020 року світове сімейство ОС різного типу та призначення нараховувало (зі щоденним зростанням) 613 одиниць, а дистрибутивів Linux – 667 [12].

На погляд авторів, архітектура ОС умовного центру обробки даних (ЦОД) сучасної АСУ ВМС ЗС України, розробка якої тільки почалася, повинна відповідати можливостям конкретного апаратно-програмного комплексу, бути повністю взаємоузгодженою до взаємодії за “дружнім інтерфейсом” (User Interface – UI) та забезпечувати необхідний рівень сервісу в певний проміжок часу, тобто повністю відповідати структурі та завданням, які здатна вирішити ОСРЧ.

Виклад основного матеріалу. Загальновідомо, що ОС – це базовий комплекс програм, що виконує керування апаратною складовою комп’ютера або віртуальної машини та обчислювальним процесом, організовує взаємодію з користувачем і складається з ядра і базового набору прикладних програм у складі ПЗ.

ОС розподіляються на системи загального та спеціального призначення, до яких, відповідно, належать:

- універсальні (для загального призначення);
- однозадачні (в окремий момент часу можуть виконувати лише одну задачу);
- багатозадачні (в окремий момент часу здатні виконувати більше однієї задачі);
- однокористувацькі (у системі відсутні механізми обмеження доступу до файлів та на використання ресурсів системи);

- багатокористувацькі (система забезпечує механізми обмеження на використання ресурсів системи (квоти));

- спеціальні (для розв'язання спеціальних задач) та спеціалізовані (виконуються на спеціальному обладнанні);

- реального часу (система підтримує механізми виконання завдань реального часу, тобто таких, для яких будь-які операції завжди виконуються в заздалегідь передбачуваний і незмінний час у разі наступних виконань).

У свою чергу, ОСРЧ (Real-time operating system – RTOS) – це тип спеціалізованої ОС, основним призначенням якої є надання необхідного та достатнього набору функцій для роботи систем реального часу та на конкретному апаратно-програмному комплексі. Під реальним часом в ОС розуміють її здатність забезпечити необхідний рівень сервісу в певний проміжок часу.

Основне завдання таких систем – це своєчасність (*англ.* – *timeliness*) виконання обробки даних. Основною вимогою до ОСРЧ є забезпечення передбачуваності або детермінованості поведінки системи в найгірших зовнішніх умовах, що різко і помітно відрізняється від вимог до продуктивності та швидкодії універсальних ОС. ОСРЧ також повинна мати та забезпечувати передбачувану поведінку за всіма сценаріями системного завантаження (виконання потоків з одночасними перериваннями).

ОСРЧ можливо розподілити на два типи: жорсткого та м'якого реального часу [13].

ОС, яка може забезпечити необхідний термін виконання завдання реального часу навіть у найгірших випадках, називається ОС жорсткого реального часу. Система, яка може забезпечити необхідний термін виконання завдання реального часу в середньому, – ОС м'якого реального часу.

Системи жорсткого реального часу повністю виключають затримки реакції системи, оскільки це може призвести до втрати актуальності результатів, великих фінансових збитків або навіть аварій і катастроф. Ситуація, у якій обробка подій відбувається за час, більший передбаченого, у системі жорсткого реального часу вважається фатальною помилкою. У разі виникнення такої ситуації ОС перериває операцію і блокує її, щоб максимально убезпечити надійність і готовність іншої частини системи. Прикладами ОС жорсткого реального часу можуть бути ОС в бортових системах управління космічних апаратів, АСУ військового призначення, авіалайнерів, океанських лайнерів, системах аварійного захисту ядерних реакторів, реєстраторах аварійних ситуацій та інших об'єктах.

У системі м'якого реального часу затримка реакції вважається відновлювальною помилкою, яка може призвести до збільшення вартості результатів і зниження продуктивності, але вона не є фатальною. Прикладом може слугувати робота обчислювальної системи, коли вона не встигла обробити черговий прийнятий пакет, що призводить до зупинки на стороні передачі та повторної відправки даних (залежно від

протоколу передачі даних). Тобто дані при цьому не втрачаються, але продуктивність системи в цілому знижується.

У більшості випадків ОСРЧ вважають лише систему, яка може бути використана для вирішення завдань у системі жорсткого реального часу, що свідчить про наявність в ОСРЧ необхідних інструментів та необхідність їх правильного застосування. Іноді для ОСРЧ також використовується поняття “інтерактивного реального часу”, у якому визначається мінімальний поріг реакції на події графічного інтерфейсу, протягом якого користувач (оператор) здатний спокійно очікувати реакції системи на видані ним вказівки.

У нашому випадку переваги спеціалізованих ОСРЧ над ОС загального призначення для їх застосування в ЦОД сучасної АСУ ВМС ЗС України цілком очевидні. Основні порівняльні характеристики ОСРЧ та ОС загального призначення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики ОСРЧ та ОС загального призначення

Тип ОС Завдання ОС	ОС спеціального призначення	ОС загального призначення
Основне завдання	Моментальна реакція на обробку запитів та завдань	Розподілення ресурсів між завданнями та користувачами
Мета (орієнтація)	Обробка зовнішніх запитів	Обробка згідно з діями користувачів
Позиціонування	Створення реального апаратно-програмного середовища реального часу	Створення апаратно-програмного середовища для конкретного користувача
Призначення	Обробка інформації в режимі реального часу	Обробка інформації в заданому режимі на конкретному обладнанні

У своєму розвитку ОСРЧ розроблялися та будувалися на основі наступних архітектур, а саме монолітної, рівневої (шарової) та архітектури “клієнт-сервер”. За монолітною архітектурою ОСРЧ визначається як набір модулів, взаємодіючих між собою всередині ядра системи, які надають прикладному ПЗ вхідні інтерфейси для звернень до апаратури (CPU, RAM). Основний недолік цього принципу побудови ОС полягає в досить заниженій передбачуваності її поведінки, викликаній складною взаємодією модулів між собою. Структурну схему монолітної архітектури ОСРЧ показано на рис. 1.

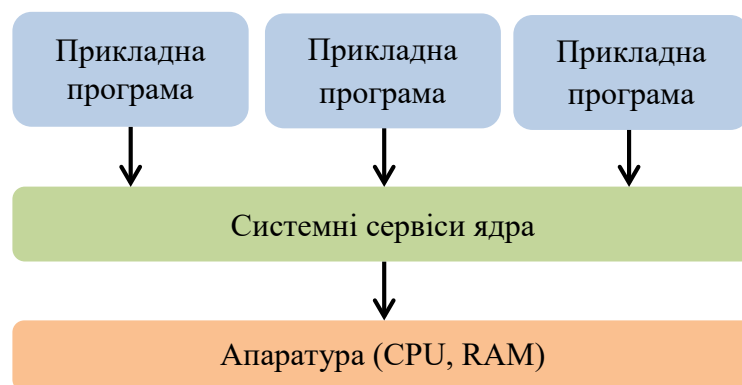


Рис. 1. Структурна схема монолітної архітектури ОСРЧ

Відповідно до рівневої (шарової) архітектури прикладне ПЗ має можливість отримати доступ до апаратури (CPU, RAM) не тільки через ядро системи та її сервіси, а й безпосередньо. У порівнянні з монолітною подібна архітектура забезпечує значно більший ступінь передбачуваності реакцій системи, а також дозволяє здійснювати швидкий доступ прикладних програм до апаратури (CPU, RAM). Головним недоліком таких систем є відсутність багатозадачності. Структурну схему рівневої (шарової) архітектури ОСРЧ показано на рис. 2.

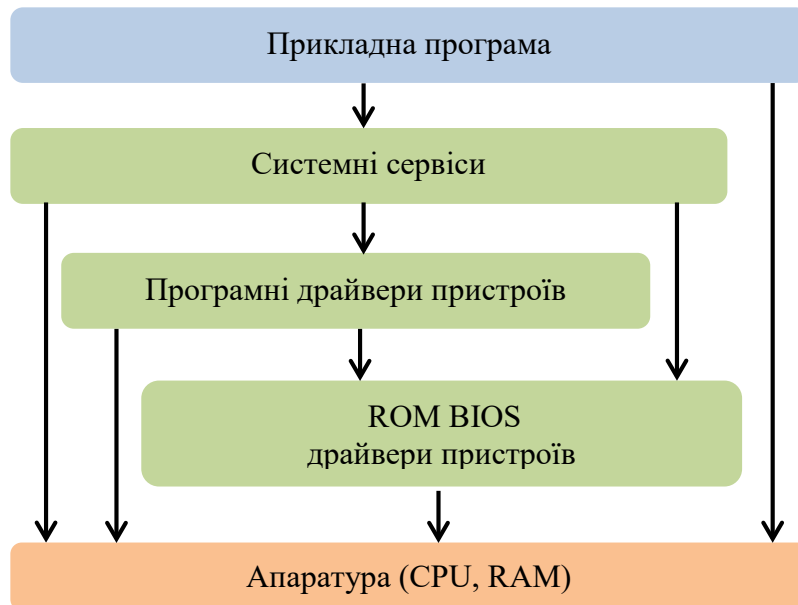


Рис. 2. Структурна схема рівневої (шарової) архітектури ОСРЧ

Згідно з підходами, передбаченими архітектурою “клієнт-сервер”, основний її принцип полягає у винесенні сервісів ОС у вигляді серверів на рівень користувача та виконанні мікроядром функцій диспетчера повідомлень між клієнтськими програмами користувача і серверами – системними сервісами.

Перевагами саме такої архітектури є: підвищена надійність (кожен сервіс є, по суті, самостійним процесом і його простіше налагодити та відстежити помилки), покращена масштабованість (непотрібні сервіси можуть бути виключені із системи без завдання суттєвої шкоди її працездатності), підвищена відмовостійкість тощо.

Структурну схему ОСРЧ архітектури “клієнт-сервер” показано на рис. 3.



Рис. 3. Структурна схема ОСРЧ згідно з архітектурою “клієнт-сервер”

В основі архітектури будь-якої багатопроцесорної обчислювальної системи лежить здатність до обміну даними між компонентами цієї ОС.

Комунікаційна система ОС є мережею, вузли якої пов'язані трактами передачі даних – каналами. За вузли можуть правити процесори, модулі пам'яті введення / виведення, комутатори або декілька перерахованих елементів, об'єднаних у групу.

Для завдання цифрової обробки сигналів функціональний макрооб'єкт повинен здійснювати структурну реалізацію базових операцій, наприклад, процедури швидкого перетворення Фур'є, процедури Уолша, косинусного перетворення. Розмірність базового перетворення визначається обчислювальним ресурсом макрооб'єкта.

Для вирішення завдань цифрової обробки сигналів доцільно використовувати не тільки елементарні процесори, здатні динамічно перелаштовуватися на виконання різних команд, а й проблемно-орієнтовані перетворювачі інформації з незмінною структурою, застосування яких дозволяє збільшити швидкість обробки інформації від 2 до 10 разів.

Якщо враховувати, що топологія міжмакрооб'єктних зв'язків може бути більш складною, аніж циліндрична, наприклад, гіперкуб, то тоді кількість можливих проблемно-орієнтованих архітектур, потенційно реалізованих у базовому модулі багатопроцесорної обчислювальної системи, багаторазово зростає [14].

Отже, топологія побудови функціонального макрооб'єкта сучасної АСУ ВМС ЗС України, на наш погляд, у своїй основі повинна передбачати ознаки чотиривимірного гіперкуба з можливістю вільного наближення до k -мірного n -куба або ж динамічної топології побудови відповідно до проблемно-орієнтованої архітектури “клієнт-сервер”, потенційно реалізованої в базовому модулі багатопроцесорної обчислювальної системи. Топологію зв'язків подібного умовного гіперкуба наведено на рис. 4.

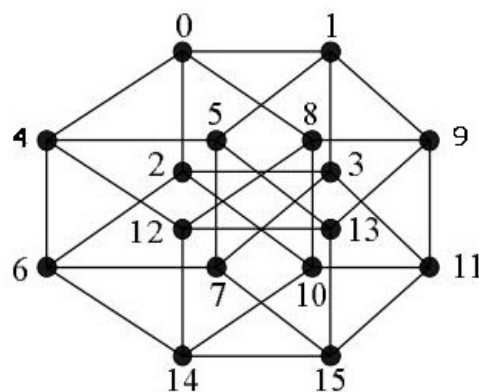


Рис. 4. Топологія зв'язків умовного гіперкуба

Слід зазначити, що для базового модуля, що містить 16 макрооб'єктів, топологія гіперкуба може бути також реалізована в тороїдальній структурі. У наведеній топології кожен макрооб'єкт пов'язаний із чотирма напрямками із сусідніми макрооб'єктами, номери яких записані в двійковому коді та відрізняються інверсією окремого біта.

Макрооб'єкт, який має номер $\langle x_0, x_1, x_2, x_3 \rangle$, пов'язаний з сусідніми об'єктами:

$$\left\{ \langle \overline{x_0}, x_1, x_2, x_3 \rangle, \langle x_0, \overline{x_1}, x_2, x_3 \rangle, \langle x_0, x_1, \overline{x_2}, x_3 \rangle, \langle x_0, x_1, x_2, \overline{x_3} \rangle \right\} \quad (1)$$

Отже, багатопроцесорна система буде адаптована до структури завдання і, з одного боку, буде забезпечувати високу швидкість обробки інформації за рахунок високої

питомої продуктивності та конвеєрної обробки даних, а з іншого – вона реалізує фон-нейманівський детермінізм обчислень і зможе бути основою для створення високопродуктивних обчислювальних систем [14].

Відповідно, ОСРЧ сучасної АСУ ВМС ЗС України повинна мати гібридне ядро, що реалізує зв'язок між прикладними процесами та апаратною частиною, завдяки базовому набору прикладних програм, системних бібліотек та програм обслуговування.

Ядро ОСРЧ також має забезпечити введення і виведення інформації (підсистема введення / виведення), управління оперативною пам'яттю (підсистема управління оперативною пам'яттю ядра ОС) та управління процесами (підсистема управління процесами ядра ОС).

Цілком можливим може бути застосування в ОСРЧ екзоядер, тобто такого типу ядер, які здатні розподілити всі апаратні ресурси, включаючи процесорний час, пам'ять та блоки зовнішньої пам'яті поміж всіма програмами.

Сучасні ОС, які широко застосовуються в серверах АСУ, зокрема й військового призначення, в основному є похідними від ОС сімейства UNIX. Вони, як правило, базуються на монолітних ядрах ОС із можливістю завантаження модулів. Ця група може включати ОС Linux та різноманітні варіанти POSIX-сумісних ОС сімейства UNIX, таких як: BSD, FreeBSD, DragonFly BSD, Open BSD і NetBSD.

До недавнього часу питання про вибір ОС для персональних комп'ютерів (ПК) взагалі не порушувалося, тому ПК на автоматизованих робочих місцях (АРМ) здебільшого спираються на ОС Windows корпорації Microsoft, що в окремих випадках може призводити до серйозних помилок та неузгодженості кодування даних у розподіленій системі "клієнт-сервер".

Так, у ході дослідження нами було чітко зафіксовано, що повідомлення, яке було сформовано в непов'язаних системах, а саме в ПК (ОС Linux Ubuntu 20.04), та передано на мобільний пристрій із ОС Android 10, було отримано в символах стандарту Юнікод і за своїм змістом аж ніяк не відповідало первинному повідомленню. Крім того, його подальша передача до ПК з ОС Windows 7x86-64 ще більше викривила оригінальне початкове повідомлення.

Приклад подібної неузгодженості в ході передачі інформації поміж технічними засобами з різними типами ОС зображено на рис. 5.

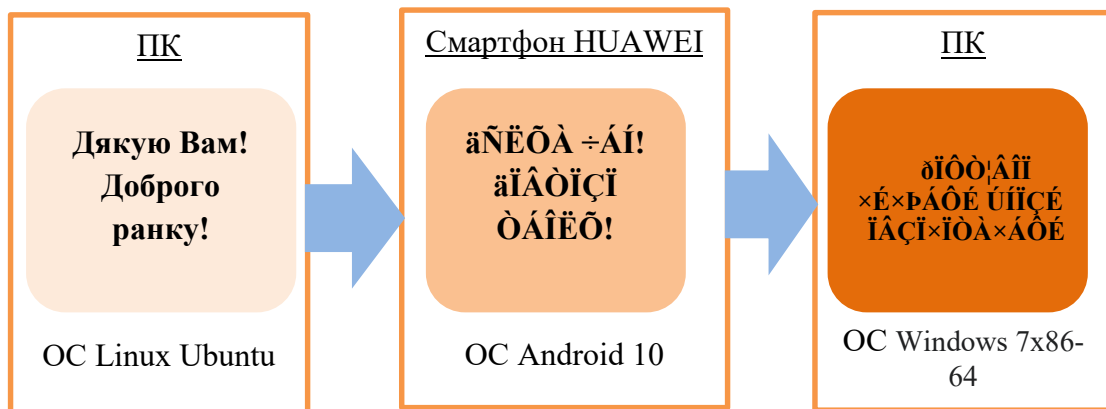


Рис. 5. Приклад змістовної неузгодженості в разі передачі інформації поміж технічними засобами з різними типами ОС

Із подібною проблемою змістовної неузгодженості на рівні “клієнта” (користувача), також можливо зіткнутися під час видачі інформації на технічні засоби об’єктивного контролю АРМ у реальних системах обробки інформації та АСУ (монітори, дисплеї, принтери, плотери та інші).

Приклад викривлення змісту первинного повідомлення (таблиці) в ході реальної передачі інформації з ПК (ОС Linux Ubuntu) до ПК (ОС Windows 10 Pro) на одному з реальних інформаційних об’єктів ВМС ЗС України наведено на рис. 6.

№ з/п	Тип документа та цифрове позначення	Назва (англ.)	Назва (укр.)
1	STANAG 1166:2013		Стандартна система позначення суден
			Процедури НАТО для звітування про морські сили, визначені об’єктами розвідки (реагування на випадки вторгнення або переслідування)
3	STANAG 7149:2015		Каталог повідомлень НАТО

№ з/п	Тип документа та цифрове позначення	Назва (англ.)	Назва (укр.)
1	HYPERLINK "https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/STANAG-1166-2013-736439_SAIG_NATO_NAT"		Стандартна система позначення суден
2			Процедури НАТО для звітування про морські сили, визначені об’єктами розвідки (реагування на випадки вторгнення або переслідування)
3	HYPERLINK "https://infostore.saiglobal.com/en-gb/standards/STANAG-7149-2015-737801_SAIG_NATO_NAT"		Каталог повідомлень НАТО

Рис. 6. Приклад змістовної неузгодженості під час реальної передачі інформації від ПК (ОС Linux Ubuntu) до ПК (ОС Windows 10 Pro)

Щодо особливостей сценаріїв майбутнього навантаження АСУ ВМС ЗС України відповідно до умов навколишньої обстановки, зокрема в мирний та воєнний час, на наш погляд, сучасна АСУ ВМС ЗС України, окрім команд та планів, які будуть надходити на виконання з верхніх рівнів управління ЄАСУ ЗС України, повинна бути здатною до формування та передачі відповідних формалізованих донесень, а також бути лояльною до обрахунку потужних потоків даних, які надходитимуть в реальному часі до ЦОД із визначених секторів (*Sectors*) та шарів (*Layers*) умовних підсистем.

У даному аспекті цілком доречним буде застосування теорії та загальнодоступного апарату математичного моделювання, що реалізує багаторазове виконання однотипних завдань у системі масового обслуговування.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Виходячи з аналізу зазначених вище особливостей і дійсної та перспективної баз розвитку ОС для потреб сучасної АСУ ВМС ЗС України, можливо зробити такі висновки:

по-перше, для потреб АСУ ВМС ЗС України необхідне створення (проектування) спеціальної багатопроцесорної обчислювальної системи з ОСРЧ, яка у своїй основі повинна передбачати ознаки чотиривимірного гіперкуба з можливістю вільного наближення до k -мірного n -куба або ж динамічної топології побудови згідно з проблемно-орієнтованою архітектурою “клієнт-сервер”, яка буде здатна забезпечити гарантоване надання необхідного та достатнього набору функцій для взаємоузгодженої роботи на конкретній апаратно-програмній складовій;

по-друге, на вибір ОСРЧ для АСУ ВМС ЗС України, як підсистеми ЄАСУ ЗС України, прямий вплив має наявна (доступна) апаратна складова та ПЗ, адже незначна помилка в їх підборі або застосування тільки тих компонентів та програм, які пропонують виробники ЕОТ чи які нав’язані постачальниками апаратної складової підсистем ЄАСУ ЗС України, призведе до невиправданих витрат на розробку додаткового прикладного ПЗ, доопрацювання складових обчислювальної системи та проблем з її подальшим стикуванням з обчислювальними мережами;

по-третьє, ОСРЧ для АСУ ВМС ЗС України повинна мати гібридне ядро, що реалізує зв’язок між прикладними процесами та апаратним забезпеченням, базовий набір програм, бібліотеки системи та програми обслуговування.

І найголовніше, ОСРЧ виділених спеціалізованих комп’ютерів ЦОД для сервісного ПЗ (серверів), ПК АРМ та інших складових майбутньої АСУ ВМС ЗС України повинні бути одного типу, призначення та похідними від одного сімейства ОС, сумісними за архітектурою з апаратною складовою.

Розробникам і проєктантам АСУ ВМС ЗС України також необхідно чітко зрозуміти й усвідомити завдання, які покладаються для вирішення на її базові складові (підсистеми), та уникнути контексту, що охоплює дещо інше поняття, а саме “інформаційно-розрахункової системи” (ІРС), у складі якої немає складних алгоритмів обробки даних, а основним призначенням є виключно пошук і видача користувачеві інформації в зручному для нього вигляді.

Перспективним напрямком подальших наукових досліджень можуть стати практичні заходи з формування оперативного-тактичних вимог до ОСРЧ із подальшим прийняттям її на озброєння згідно зі встановленим порядком.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Стратегічний оборонний бюлетень України, затв. Указом Президента України від 06.06.2016 № 240/2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/240/2016#n10> (дата звернення: 20.10.2020).
2. Український мілітарний портал. АСУ Збройних сил. URL: <https://mil.in.ua/uk/acy-zbroynih-sil> (дата звернення: 14.10.2020).
3. Автоматизація за наказом. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/avtomatizatsija_za_nakazom-239.html (дата звернення: 14.01.2021).
4. Porter A. Basic Principles of Automatic Control Systems // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Vol. 159, Iss. 1. P. 25–45.
5. Шоу А. Логическое проектирование операционных систем. Москва : Мир, 1981. 360 с.
6. Таненбаум Э. С. Современные операционные системы. 2-е изд. Санкт-Петербург : Питер, 2005. 1038 с.

7. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / Пер. с англ. Б. И. Копилова. Москва : Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 832 с.
8. Дружинін С. В., Климович О. К., Сасенко О. Г. Сучасний стан автоматизації управління військами в Збройних Силах України // Системи озброєння і військова техніка. 2010. № 1 (21). С. 60–62.
9. Клімушин П. С., Кротов В. Д. Автоматизована система управління Збройних Сил України як сучасний різновид стратегічного озброєння // Теорія та практика державного управління. 2014. № 1 (44). С. 16–23.
10. Кучеренко Ю. Ф. Концептуальні положення щодо створення автоматизованої системи управління оперативним командуванням // Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 2 (38). С. 149–152.
11. Садиков О., Васюков І., Прокопенко Є. Підходи і перспективи розвитку засобів зв'язку та автоматизації Збройних Сил України // Зб. наук. праць Нац. академії Держ. прикордон. служби України. Серія “Військові та технічні науки”. 2016. № 4 (70). С. 252–263.
12. Operating System List. URL: https://www.operating-system.org/betriebssystem/_english/os-liste.htm (last accessed: 17.11.2020).
13. Бурдонов И. Б., Косачев А. С., Пономаренко В. Н. Операционные системы реального времени // Программирование : Журнал РАН. Москва : Институт системного программирования РАН им. В. П. Иванникова, 2006. С. 98.
14. Левін І. І., Коновальчик П. М., Іванов А. І., Малеванчук А. Д. Багатопроекторна система, адаптована під інформаційну структуру задач різноманітних класів // Искусственный интеллект. 2004. № 3. С. 140–148.

Стаття надійшла до редакції 15.06.2021.

REFERENCES

1. *Stratehichnyi oboronnyi biuletен Ukrainy, zatv. Ukazom Prezydenta Ukrainy vid 06.06.2016 № 240/2016. [Strategic Defense Bulletin of Ukraine, approved. By the Decree of the President of Ukraine dated 06.06.2016 № 240/2016].* (2016, June 06). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/240/2016#n10> [in Ukrainian].
2. *Ukrainskyi military portal. ASU Zbroinykh syl [Ukrainian military portal. ACS of the Armed Forces].* (n.d.). Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/asu-zbroinykh-syl> [in Ukrainian].
3. *Avtomatyzatsiia za nakazom [Automation by order].* (n.d.). Retrieved from https://defence-ua.com/weapon_and_tech/avtomatizatsija_zh_nakazom-239.html [in Ukrainian].
4. Porter, A. (n.d.). Basic Principles of Automatic Control Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 159, Iss. 1, 25–45.*
5. Shou, A. (1981). *Logicheskoe proektirovanie operatsionnykh sistem [Logical design of operating systems].* Moscow [in Russian].
6. Tanenbaum, E. S. (2005). *Sovremennye operatsionnye sistemy [Modern operating system].* 2nd ed. Saint Petersburg [in Russian].
7. Dorf, R., & Bishop, R. (2002). *Sovremennye sistemy upravleniia [Modern control systems].* (Trans. from English. B. I. Kopilova). Moscow [in Russian].

8. Druzhynin, S. V., Klymovych, O. K., & Saienko, O. H. (2010). Suchasnyi stan avtomatyzatsii upravlinnia viiskamy v Zbroinykh Sylakh Ukrainy [The current state of military command automation in the Armed Forces of Ukraine]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapons systems and military equipment]*, 1 (21), 60–62 [in Ukrainian].
9. Klimushyn, P. S., & Krotov, V. D. (2014). Avtomatyzovana systema upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy yak suchasnyi riznovyd stratehichnoho ozbroiennia [Automated control system of the Armed Forces of Ukraine as a modern type of strategic weapons]. *Teoriia ta praktyka derzhavnoho upravlinnia [Theory and practice of public administration]*, 1 (44), 16–23 [in Ukrainian].
10. Kucherenko, Yu. F. (2014). Kontseptualni polozhennia shchodo stvorennia avtomatyzovanoi systemy upravlinnia operatyvnym komanduvanniam [Conceptual provisions for the creation of an automated control system of operational command]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapons systems and military equipment]*, 2 (38), 149–152 [in Ukrainian].
11. Sadykov, O., Vasiukov, I., & Prokopenko, Ye. (2016). Pidkhody i perspektyvy rozvytku zasobiv zv'iazku ta avtomatyzatsii Zbroinykh Syl Ukrainy [Approaches and prospects for the development of communication and automation of the Armed Forces of Ukraine]. *Zb. nauk. prats Nats. akademii Derzh. prykordon. sluzhby Ukrainy. Seriia "Viiskovi ta tekhnichni nauky" [Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Military and Technical Sciences Series]*, 4 (70), 252–263 [in Ukrainian].
12. *Operating System List.* (n.d.). Retrieved from https://www.operating-system.org/betriebssystem/_english/os-liste.htm
13. Burdonov, I. B., Kosachev, A. S., & Ponomarenko, V. N. (2006). Operatsionnye sistemy real'nogo vremeni [Real-time operating systems]. *Programmirovaniie : Zhurnal RAN [Programming: Journal of the Russian Academy of Sciences.]*, 98. Moscow [in Russian].
14. Levin, I. I., Konovalchuk, P. M., Ivanov, A. I., & Malevanchuk, A. D. (2004). Bahatoprotsesorna systema, adaptovana pid informatsiinu strukturu zadach riznomanitnykh klasiv [Multiprocessor system adapted to the information structure of tasks of various classes]. *Iskusstvennyi intellekt [Artificial intelligence]*, 3, 140–148 [in Ukrainian].

A. V. Kobzar, M. V. Musienko

TOPOLOGY OF CONSTRUCTING REAL TIME OPERATING SYSTEM ACS OF THE UKRAINIAN NAVY

This paper considers the problem creation of an operating system automated control system for the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine from the point of view of the peculiarities of scenarios of its load in accordance with the real situation.

The authors focused on the fact that modern technical solutions that implement the most advanced developments in science and technology regarding the construction of modern automated control systems, in their content, do not cover the assessment of the ability of existing operating systems as a basic complex of interconnected programs for full-fledged control of the hardware component of the control system, ensuring control of the computing process and organizing its full-fledged interaction with users.

Special attention was focused on the architecture of the real-time operating system, the main purpose of which is to provide the necessary and sufficient set of functions for the design,

development and operation of real-time systems on specific hardware in our case, in a conditional data processing center (of the corresponding level) of the automated control system of the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine.

The real-time operating system of the automated control system (ACS) of the Naval Forces of Ukraine must have a hybrid core that implements the connection between application processes and hardware, a basic set of applications, system libraries and maintenance programs.

The advantages of this particular architecture are: increased reliability (each service is essentially an independent process that is easier to debug and track errors that occur), improved scalability (unnecessary services can be excluded from the system without material damage to its performance), increased fault tolerance and others.

In this aspect, when the ACS data processing center will operate with a sufficiently large flow of service requests, it is quite appropriate to use the apparatus of the Queuing system theory.

Keywords: *automated control system; operating system; electronic computer; personal computer; real time; software; Ukrainian Navy.*

Д. А. Іщенко, В. А. Кирилюк, Л. М. Марищук, С. Д. Іщенко

ІТЕРАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ РІШЕННЯ НА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ БОЙОВОГО (ОПЕРАТИВНОГО) ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглянуто ітеративні методи експертних оцінок для проведення досліджень щодо актуальності вдосконалення сил та засобів бойового (оперативного) забезпечення з метою застосування за призначенням військових частин (підрозділів), оснащення яких планується новими (модернізованими) зразками озброєння. Модернізація сил та засобів формально розглядається як внесення змін в озброєння, військову техніку та документи, що регламентують основи підготовки й застосування військ (сил) за призначенням. Такими документами можуть бути бойові статутути родів військ видів Збройних Сил України, а також документи нормативної бази з організації видів забезпечення та застосування військових частин і підрозділів.

Удосконалення сил та засобів за змістом досліджується як складова набуття спроможностей із бойового (оперативного) забезпечення.

Обґрунтовано доцільність експертного оцінювання актуальності внесення змін у документи нормативного забезпечення відповідно до ступеня виконання робіт із розроблення та прийняття на озброєння військових частин (підрозділів) зразка техніки за видом бойового (оперативного) забезпечення. Запропоновано ітеративний підхід до експертного оцінювання актуальності внесення змін у документи нормативного забезпечення, включаючи паралельне безперервне супровідне дослідження (аналіз) отриманих результатів і коригування попередніх етапів роботи.

Запропонований ітеративний підхід є вдосконалим порівняно з експертним методом одночасного оцінювання необхідності внесення змін у всі складові сил та засобів бойового (оперативного) забезпечення різного рівня їх ієрархії: озброєння, військову техніку та документи загальної системи нормативного забезпечення застосування військ (сил) за призначенням. Запропонований підхід дозволяє налагоджувати ефективний зворотній зв'язок дослідників, розробників, експертів із замовником – органом військового управління (в особі, яка приймає рішення) – щодо створення “продукту”, який реально відповідає потребам збройної боротьби, – зразка озброєння і військової техніки та нормативного забезпечення застосування військової частини (підрозділу), оснащеного ним.

Надано рекомендації з використання запропонованого підходу органами військового управління для підвищення ефективності нормативного забезпечення застосування за призначенням сил та засобів бойового (оперативного) забезпечення.

Ключові слова: алгоритм; експертний метод; ітерація; ітеративний підхід; настанова; нормативний документ.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Особливості бойового застосування військових частин (підрозділів) Об'єднаних сил на сході країни демонструють високу, © Д. А. Іщенко, В. А. Кирилюк, Л. М. Марищук, С. Д. Іщенко, 2021

а в деяких бойових епізодах операції вирішальну значущість спроможностей із функціональних груп “Розвідка” (INTELLIGENCE) і “Захист та живучість” (PROTECT) у сучасних війнах (збройних конфліктах). Практикою підтверджується необхідність дотримання в сучасних протистояннях положення, що набуття та розвиток таких спроможностей супровідної підтримки повинні здійснюватися до рівня ефективності ведення радіоелектронної розвідки (РЕР) та радіоелектронної боротьби (РЕБ), який забезпечуватиме ефективність застосування за призначенням військових частин (підрозділів), що є носіями спроможностей за іншими функціональними групами, наприклад, “Командування та управління” (COMMAND & CONTROL – C2), “Застосування” (ENGAGE – E).

Набуття спроможності супровідної підтримки силами й засобами РЕР і РЕБ із використанням спеціальних методів та характерних для них способів радіо- та радіотехнічної розвідки (РР та РТР), радіоелектронного подавлення (РЕП), захисту (РЕЗт) та електронної підтримки має зв'язок із практичними завданнями військ (сил) щодо перспективного розвитку Збройних Сил (ЗС) України [1].

Відповідно до Рекомендацій з оборонного планування на основі спроможностей у Міністерстві оборони України та ЗС України [2], розвиток спроможностей здійснюється шляхом удосконалення таких базових компонентів (складових): розвиток озброєння та військової техніки (ОВТ) РЕР (РЕБ); удосконалення застосування сил та засобів; зміна організаційних структур; покращення системи відбору, навчання, підготовки та мотивації персоналу. Аналіз окремих елементів розвитку базових компонент надав можливість зробити висновок про те, що особливості проєктів розвитку ОВТ (закордонні закупівлі, ініціативні проєкти вітчизняних підприємств, глибока модернізація зразків тощо) обумовлюють потребу прийняття рішень на вдосконалення наявних сил та засобів, нормативного забезпечення застосування військових частин (підрозділів), на озброєння (військову експлуатацію) яких надходять зразки техніки РЕР (РЕБ). Удосконалення сил та засобів РЕР (РЕБ) можливе шляхом внесення змін у документи нормативного забезпечення з РЕР (РЕБ) (далі – документи нормативного забезпечення), сукупність яких утворює складну ієрархічну систему. Тому таке рішення є вибором одного з варіантів: внесення змін, повна заміна або неактуальність удосконалення наявних сил і засобів РЕР (РЕБ).

Аналіз відомих методів експертного оцінювання варіантів рішення, як складової науково-методичного забезпечення розвитку спроможностей, дозволив порушити проблему в загальному вигляді: визначення актуальності вдосконалення сил та засобів РЕР (РЕБ) відповідно до ступеня виконання робіт із розроблення та прийняття на озброєння військових частин (підрозділів) зразка ОВТ, включаючи паралельно безперервне дослідження (аналіз) отриманих результатів і коригування попередніх етапів роботи.

Відсутність науково-методичного апарату дослідження актуальності вдосконалення наявних сил та засобів РЕР (РЕБ), що містить формалізований опис процедур ітеративного визначення експертним методом варіантів рішення на зміни в них, ускладнює прийняття рішення щодо вдосконалення засобів РЕР (РЕБ), експлуатації та бойового застосування військових частин (підрозділів), оснащених новим (модернізованим) зразком РЕР (РЕБ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що для формування науково-методичного апарату дослідження актуальності вдосконалення сил та засобів РЕР (РЕБ) за ітеративним підходом до визначення експертним методом варіантів рішення на зміни в ієрархічні системи можна використати положення, висвітлені у відомих роботах.

У [3] на основі аналізу взаємозв'язку категорій оборонного планування запропоновано логічно цілісну структуру його завдань, а також уточнено місце, роль, зміст й особливості розробки документів оборонного планування.

У більшій мірі розкриті питання щодо прийняття управлінських рішень [4, 5], зокрема у військовій справі, в умовах певної невизначеності. Кількісні методи оцінювання варіантів рішень із використанням методу експертних оцінок описано в роботах, присвячених загальним питанням експертного оцінювання [6–8].

Методологія планування розвитку, науково-технічного супроводження ОВТ досить широко висвітлена в значній кількості робіт, наприклад, [9–11].

Елементи нормативної бази з удосконалення сил і засобів та набуття спроможностей із бойового (оперативного) забезпечення, що належать до функціональних груп (інтегрованої категорії) спроможностей “Захист та живучість” (PROTECT), а також “Розвідка” (INTELLIGENCE), визначено в [12–16].

У той же час в останніх проаналізованих роботах не досліджено питань формування ітеративного підходу до визначення експертним методом варіантів рішення на зміни в ієрархічних системах нормативного забезпечення розроблення, експлуатації та бойового застосування зразка РЕР (РЕБ).

Змістом такого ітеративного підходу є багаторазовий процес [17], що враховує апробовані результати вже проведених у галузі змін, а його застосування надає можливість використати експертні оцінки та досвід бойового застосування зразка озброєння на наступній фазі життєвого циклу (ЖЦ) (розвитку).

Отже, відомі праці не надають повного науково-методичного апарату дослідження необхідності вдосконалення наявних сил та засобів РЕР (РЕБ), не містять формалізованого опису основних процедур за ітеративним підходом до визначення експертним методом варіантів рішення на вдосконалення сил та засобів оперативного (бойового) забезпечення. Це ускладнює прийняття рішення на зміни в ієрархічних системах організації оперативного (бойового) забезпечення та бойового застосування військових частин (підрозділів), оснащених новим зразком РЕР (РЕБ).

Відповідно, дослідження необхідності вдосконалення наявних сил та засобів РЕР (РЕБ) з використанням формалізованих основних процедур за ітеративним підходом до використання експертних оцінок варіантів рішення є важливим та актуальним науково-практичним завданням.

Формулювання завдання дослідження. Завданням дослідження є удосконалення чинних кількісних методів експертного оцінювання варіантів відповідно до специфіки діяльності у сфері набуття спроможностей із РЕР (РЕБ) і формування науково-методичного підходу та порядку ітеративного застосування методів експертних оцінок для проведення досліджень щодо необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення. Запропонований підхід повинен не суперечити відомих класичним методам

експертного оцінювання щодо формування вихідних даних і визначення компетенції експертів, а також загальному алгоритму роботи.

Математичні розрахунки для оброблення даних необхідно розробити у версії, що забезпечуватиме необтяжливість їх оперативного виконання та однозначне сприйняття особами, які супроводжують процеси оцінювання, формування результатів і прийняття рішень щодо актуальності проведення змін у складних ієрархічних організаційних (організаційно-технічних) системах забезпечення РЕР (РЕБ) і бойового застосування військових частин (підрозділів), оснащених новим зразком ОВТ.

Виклад основного матеріалу. Сили та засоби таких видів бойового (оперативного) забезпечення, як РЕР (РЕБ), у формуваннях яких визначальним елементом у зразках основного озброєння є радіоелектронна апаратура, необхідно розглядати як складні організаційно-технічні системи. Вони мають технічну складову – зразки ОВТ, ЖЦ яких забезпечується функціонуванням іншої складової – персоналом (особовим складом формувань), та потребують відповідного нормативного забезпечення, що регламентує функціонування таких систем на стадіях ЖЦ.

Як показує аналіз відомих авторам результатів наукових досліджень [18, 19], науково-методичних розробок, нормативних документів (НД), життєвий цикл озброєння, військової та спеціальної техніки визначається як сукупність взаємопов'язаних стадій. Згідно з ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288, ДСТУ ISO/IEC TS 24748-1 та ДСТУ В-П 15.004:2019 до типових стадій ЖЦ виробу ОВТ належать такі: задум; розроблення; виробництво; використання; підтримка; вилучення.

Базовими елементами ЖЦ проєктів, пов'язаних із набуттям спроможностей із РЕР (РЕБ) (удосконаленням техніки, розробленням програмного забезпечення, створенням програмно-технічних комплексів), є сукупність окремих етапів робіт, що проводяться за прийнятими для цього проєкту моделлю та методологією (методом) його реалізації, протягом періоду часу, який починається з вирішення питання про розроблення та закінчується припиненням використання цієї складової.

Аналіз відомих моделей, що визначають загальну організацію ЖЦ, основні його фази та принципи переходу між ними, дозволяє стверджувати, що розрізняють такі основні їх види [20].

Послідовна (каскадна, водоспадна), за якою всі фази проєкту виконуються одноразово послідовно, тобто наступна по завершенню попередньої.

Ітераційна (еволюційна, спіральна), за якою на кожній ітерації створюється фрагмент або версія продукту, передбаченого проєктом, уточнюється кінцева мета і характеристики проєкту, визначається його якість, плануються роботи для наступного витка. Реалізація проєкту здійснюється шляхом ітеративної та інкрементної розробки продукту [21].

Головна мета кожної ітерації – якнайшвидше створити працездатний продукт, який можна показати замовнику.

ЖЦ продукту (зразка РЕР (РЕБ)), створюваного в рамках проєкту, супроводжується розробленням, обігом та використанням технічної документації [22].

Кожне військове формування має свій ЖЦ, через який воно проходить у результаті дій, що виконуються й керуються людьми. Для визначення ЖЦ формування (військової частини, підрозділу) будемо використовувати набір стадій, протягом яких відбуваються

певні процеси. За аналогією зі стадіями та моделлю ЖЦ виробу ОВТ запропоновано перелік таких стадій, що є основними періодами ЖЦ військового формування, що реалізуються за відповідними моделями.

На рис. 1 запропоновано як найбільш прийнятну в дослідженні рекурсивну [14] модель процесу ЖЦ військової частини.

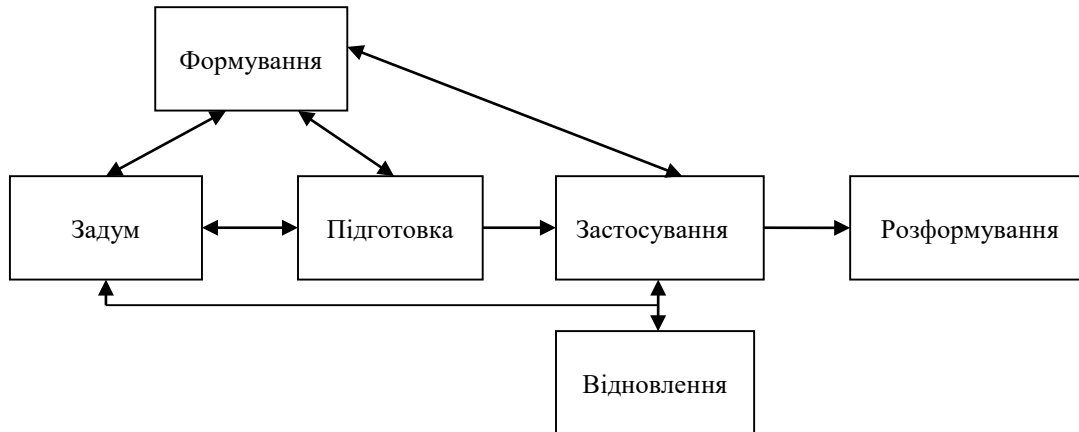


Рис. 1. Рекурсивна модель процесу ЖЦ військової частини (з різним порядком проходження стадій)

Специфіка військової діяльності потребує розроблення і використання, особливо з початком експлуатації продукту (прийняттям на озброєння зразка ОВТ), документів нормативного забезпечення бойової діяльності військ (сил) із його застосуванням. У цій статті такими документами розглядаються бойові статuti, система нормативного забезпечення з бойового застосування військових частин і підрозділів. Вони регламентують порядок підготовки військових частин і підрозділів та виконання завдань із використанням певних зразків РЕР (РЕБ) у різних умовах обстановки. Розроблення та вдосконалення таких документів розглядається також як спосіб набуття спроможностей військ [2]. Для дослідження спроможностей із РЕР (РЕБ) приймемо певні обмеження щодо обсягу таких документів та як практичний приклад проаналізуємо систему настанов у такому складі:

настанова з організації виду оперативного (бойового) забезпечення військ (сил);

настанова із застосування військових формувань сил та засобів за специфікою відповідних завдань, що відрізняються в різних видах ЗС України.

Сукупність таких документів повинна бути створена, організована та підтримана як цілеспрямовано штучно організована система, що є ієрархічно впорядкованою та складною. Ієрархія визначається змістовною підпорядкованістю всіх настанов із застосування військових формувань – НФі (і – номер (позначка) виду (окремого роду)) ЗС України – змісту настанови з організації виду оперативного (бойового) забезпечення військ (сил) (НОЗ). Система настанов є складною, тому що НФі, які є її елементами, не тільки залежні за змістом від НОЗ, вони повинні бути узгоджені між собою, крім того, вони складаються з певних системних понять, категорій та положень.

Безумовно, потрібно дотримання взаємодії системи настанов із системою озброєння, яку слід вважати визначальною, та системою підготовки персоналу тощо, які необхідно розглядати елементами в складі надсистеми – системи РЕР (РЕБ).

Оскільки матеріальна складова системи РЕР (РЕБ) – система ОВТ – є визначальною щодо системи настанов, то слід вважати, що порядок (модель і методологія) вдосконалення нормативного забезпечення застосування не повинен суперечити моделі ЖЦ техніки РЕР (РЕБ) та ЖЦ системи в цілому.

Значна кількість проєктів набуття спроможностей за рахунок удосконалення техніки РЕР (РЕБ) через теперішні воєнно-політичні, військово-технічні умови й ресурсні обмеження реалізуються за еволюційною моделлю отримання продуктів – зразків техніки РЕР (РЕБ). Військові частини (підрозділи), оснащені відповідними зразками РЕР (РЕБ), використовують різні способи виконання своїх завдань і форми дій, що визначають відмінність і потребу вдосконалення сил та засобів їх застосування за рахунок удосконалення шляхом внесення змін у систему нормативного забезпечення.

Очевидно, що процес удосконалення складної ієрархічної системи настанов також потребує ітеративного підходу. На рис. 2 наведено модель ітеративного підходу до вдосконалення системи нормативного забезпечення (з різним порядком проходження стадій), яка відповідає рекурсивній моделі ЖЦ ОВТ та формування сил і засобів бойового (оперативного) забезпечення, на озброєнні якого воно знаходиться.

Такий підхід допускає аналіз системи настанов на кожному витку розроблення продукту, її перевірку, оцінку правильності та прийняття рішення про перехід на наступний виток або повернення на попередній для доопрацювання на ньому проміжного продукту.

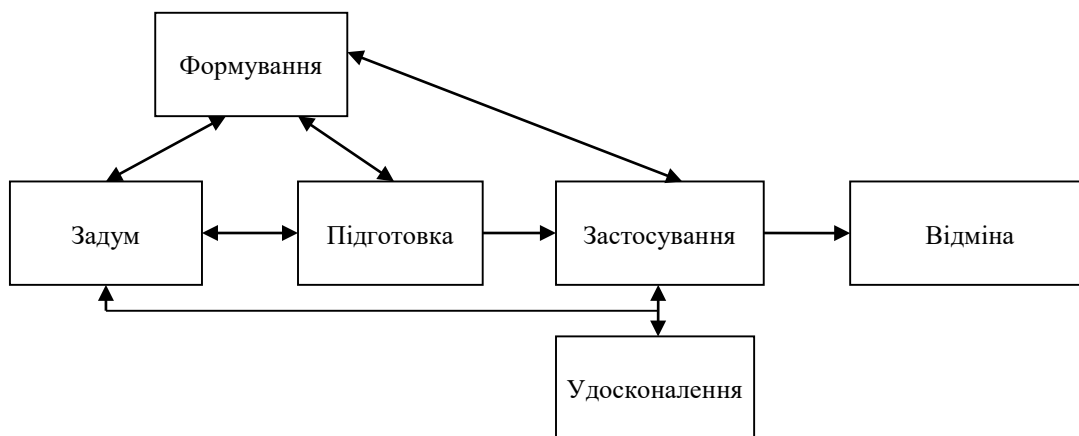


Рис. 2. Модель ітеративного підходу до вдосконалення системи нормативного забезпечення (з різним порядком проходження стадій)

Відмінність такого підходу від того, за яким удосконалюються всі системи нормативного забезпечення одночасно (НОЗ та всі НФі), полягає в можливості багаторазово повертатися до процесу формулювання вимог і до повторної розробки версії системи в цілому з будь-якого етапу процесу.

Розглянемо основні етапи ітерації кожного циклу (кола робіт) ітеративного вдосконалення чинної системи настанов.

Аналіз ініціалізації ітерації. Планування внесення змін. На цьому етапі з використанням експертів оцінюється актуальність завдання вдосконалення чинної системи настанов: визначення актуальності змін за ієрархією (загальної, НОЗ, НФі);

формування варіанта та моделі внесення змін; прийняття рішення (вимоги, визначені варіантом моделі, виконавці та їх завдання, терміни тощо).

Виконання завдань з удосконалення системи настанов виконавцями у прийнятому варіанті за визначеною моделлю полягає в такому: аналіз завдань; розроблення передбаченого матеріалу (продукту); реалізація рішення у вигляді проєкту вдосконалення системи настанов.

Впровадження та тестування вдосконаленої системи настанов у практиці РЕР (РЕБ).

Супровід еволюційних змін у РЕР (РЕБ): валідація – підтвердження того, що зроблені зміни є актуальними щодо вирішення завдань РЕР (РЕБ); верифікація розроблених змін – підтвердження того, що вони відповідають завданню на їх розроблення.

Ініціалізація наступної інтеграції.

Приклад підготовки рішення на визначення необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення (далі – рішення).

З урахування підходів, викладених у [23], було визначено чотири варіанти рішення – Р:

Р1 – прийняття та запровадження змін. Вимоги повністю відповідають критеріям необхідності та своєчасності, визначено очікувану дату запровадження рішення;

Р2 – прийняття та запровадження змін із застереженнями. Вимоги в цілому відповідають критеріям необхідності та своєчасності, проте є деякі обмеження та застереження, які не дозволяють запровадити рішення повністю;

Р3 – прийняття та запровадження змін в майбутньому. Вимоги повністю відповідають критерію необхідності, проте своєчасність (очікувана дата запровадження рішення) наразі не може бути визначена;

Р4 – прийняття та запровадження змін недоцільні. Варіант рішення про неприйняття змін у систему нормативного забезпечення свідчить про загальну відсутність необхідності внесення змін для нормативного забезпечення застосування зразка озброєння.

Усі варіанти рішення (ВР) надаються кожному з шістьох експертів – фахівців (за кожен вид та окремий рід військ і за вид забезпечення в ЗС України) у його предметній сфері. Завданням експерта є визначення рангу – місця пріоритету кожного із запропонованих рішень згідно з умовою, що ранг 1 вищий, а 4 нижчий. У разі надання експертом однакового пріоритету декільком ВР ним розраховується середній ранг.

Порядок проведення експертних оцінювань достатньо вивчений фахівцями, що проводять дослідження з використанням такого методу. Приклад опрацювання однозначних оцінок, наданих експертами, а також таких, що мають певну невизначеність, пошук підсумкових із використанням методів середнього арифметичного та медіан автори розглянули в [24].

За таких умов приймаємо, що за результатами експертного оцінювання отримано результат, який можна описати в такий спосіб:

$$P1 < P3 < P2 < P4. \tag{1}$$

Запис (1) означає, що Р1 – прийняття й запровадження змін повністю відповідають критеріям необхідності та своєчасності, визначено очікувану дату запровадження рішення, що є найважливішим, і на основі цього необхідно прийняти інше про необхідність внесення змін до настанов.

Для підготовки наступного етапу роботи дослідження необхідності внесення змін із використанням методу експертного оцінювання потрібно підготувати можливі варіанти рішень.

Розглянемо варіанти рішення щодо внесення змін у НОЗ і НФі.

Варіант 1. Необхідне внесення змін у НОЗ і НФі.

Варіант 2. Потрібне внесення змін у НОЗ, відсутня необхідність внесення змін у НФі.

Варіант 3. Немає потреби внесення змін у НОЗ, необхідне внесення змін у НФі.

У разі прийняття рішення щодо необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення за варіантом 2, проведення подальшого дослідження експертним методом не потрібне, тому що таке рішення не потребує уточнення за складовими нормативної бази. Варіант 2 передбачає внесення змін тільки до системи нормативного забезпечення з РЕР (РЕБ) без змін положень, визначених настановами із застосування частин РЕР (РЕБ) видів ЗС.

Якщо прийнято рішення щодо необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення за варіантом 1 або 3, то проведення подальшого дослідження експертним методом потребує підготовки можливих варіантів рішення за складовими НФі.

Кількість варіантів N необхідності внесення змін у НФі може бути визначена з виразу для розрахунку можливих комбінацій щодо n із m [25]:

$$N = \frac{m!}{(m-n)!n!}.$$

Для основних видів та окремих родів військ ЗС України (Сухопутних військ (СВ), Повітряних Сил (ПС), Військово-Морських Сил (ВМС), Десантно-штурмових військ (ДШВ), Сил спеціальних операцій (ССО)) кількість варіантів прийняття рішень щодо внесення змін у НФі в разі $i = \{СВ, ПС, ВМС, ДШВ, ССО\}$ кількість комбінацій за кожним із варіантів 1 та 3 становить 31, а загальна кількість варіантів щодо необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення – 62.

Послідовність дій, що виконують учасники процесу вдосконалення та набуття спроможностей із РЕР (РЕБ) за рахунок розроблення нового комплексу та відповідного внесення змін у систему нормативного забезпечення (НД) застосування військових частин (комплексів), оснащених його зразками, зображено у вигляді алгоритму на рис. 3.

Алгоритм реалізації ітеративного підходу до вдосконалення складної ієрархічної системи НД із бойового (оперативного) забезпечення передбачає таке.

У блоці 1 здійснюється формування вихідних даних щодо ЖЦ (призначення, можливості, стадія розроблення, результати досліджень і випробувань, кількість потрібних і наявних зразків тощо). Сформовані дані вводяться в алгоритм як вихідні дані для подальшого формування варіантів рішення, що надаються експертам для оцінювання.

У блоці 2 аналізується стан зразка на стадії ЖЦ з метою визначення відповідності до нього змісту чинних НД, ступеня розроблення змін до них або розроблення нових.

У блоці 3 проводиться ініціалізація ітерації дослідження актуальності внесення змін у систему нормативного забезпечення відповідно до стадії ЖЦ. У разі проведення попередніх циклів алгоритму – згідно з варіантом рішення для ініціалізації ітерації про актуальність змін у НД i (НОЗ або НФі), де $i = 1 \dots I$ є умовним номером НД у системі нормативного забезпечення.

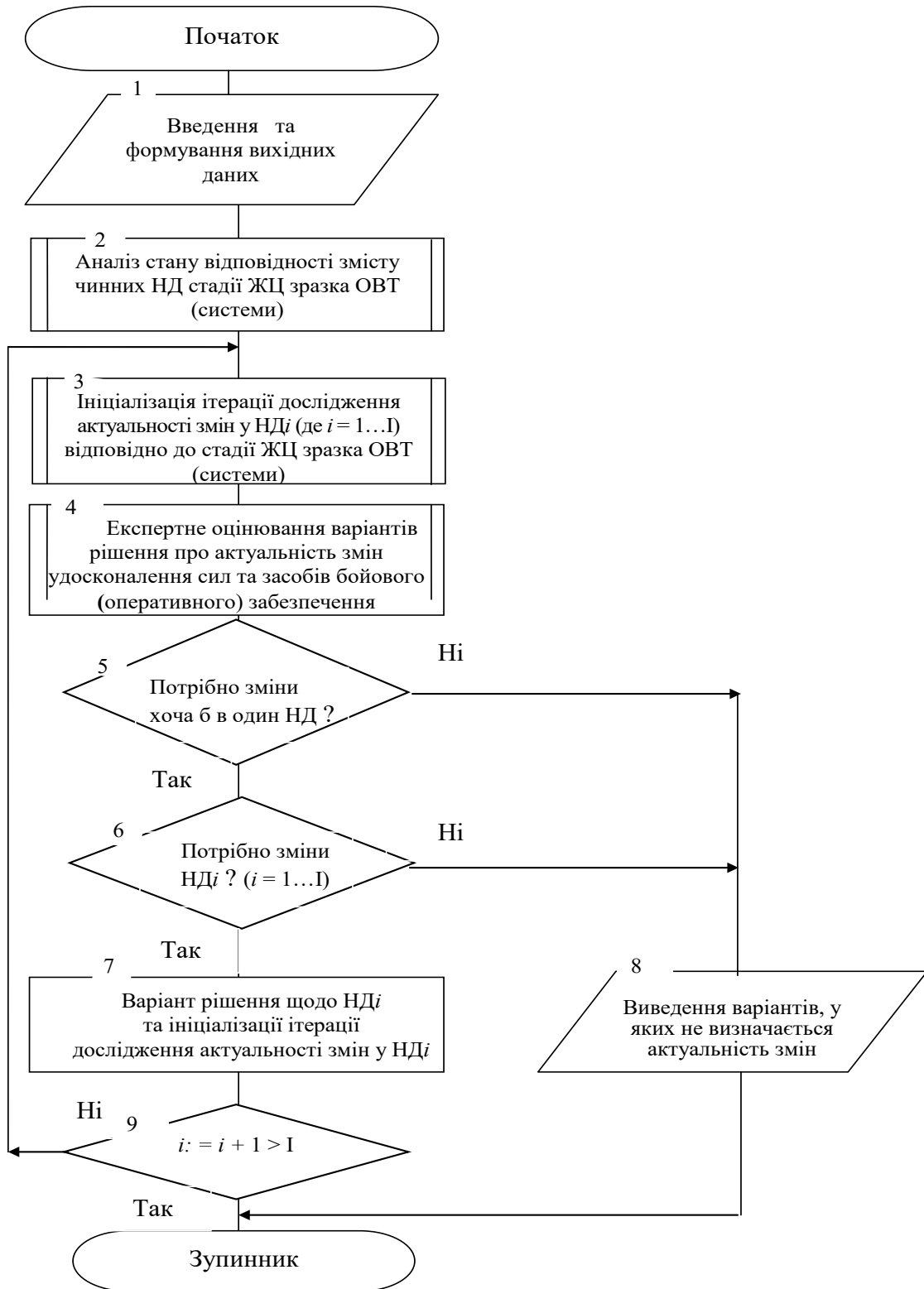


Рис. 3. Алгоритм реалізації ітеративного підходу до вдосконалення складної ієрархічної системи нормативних документів із РЕБ

У блоці 4 здійснюється експертне оцінювання сформованих варіантів внесення змін у систему нормативного забезпечення за ієрархічним принципом: загальна актуальність; актуальність внесення змін у НОЗ; актуальність внесення змін у НФі.

У блоці 5 за результатами експертного оцінювання приймається рішення про потребу внесення зміни хоча б в одну настанову: у разі позитивного результату визначається

потреба подальшого дослідження актуальності внесення змін у систему нормативного забезпечення, а за негативного відбувається фіксація прийнятого варіанта.

У блоці 6 приймається рішення про актуальність внесення змін у систему нормативного забезпечення, що в разі позитивного результату визначає необхідність формування завдань невиконання рішення, а за негативного – фіксація прийнятого варіанта.

У блоці 7 варіант рішення оформлюється в завдання виконавцям (вимоги, терміни тощо) щодо НД, а також відбувається ініціалізація ітерації дослідження актуальності змін у НДі + 1.

У блоці 8 фіксуються негативні результати прийнятого варіанта щодо актуальності внесення змін у систему нормативного забезпечення.

У блоці 9 перевіряється умова щодо неперевищення кількості настанов, для яких визначається актуальність внесення змін, максимальна кількість документів, які функціонують у складній системі нормативного забезпечення бойового застосування формувань РЕР (РЕБ), оснащених такими зразками ОВТ.

Алгоритм реалізації ітеративного підходу до вдосконалення складної ієрархічної системи НД із бойового (оперативного) забезпечення надає можливість багаторазово повертатися до процесу формулювання вимог і до повторної розробки версії системи в цілому з будь-якого етапу процесу.

Встановлення необхідності внесення змін є визначальним елементом у послідовності дій (алгоритмі) персоналу (дослідників, фахівців) з удосконалення складної ієрархічної системи настанов та потребує відповідної методики. Структуру методики визначення необхідності внесення змін у систему нормативного забезпечення за ітеративним підходом зображено на рис. 4.

Висновки. Отже, у статті розглянуто проблему розвитку спроможностей за рахунок покращення таких їх базових компонентів (складових), які не потребують значних ресурсів, а саме вдосконалення (зміни) доктринальної бази сил та засобів оперативного (бойового) забезпечення за прикладом удосконалення нормативних документів (настанов) із РЕР (РЕБ).

У результаті досліджень встановлено:

необхідність розгляду сукупності настанов як штучної складної ієрархічної системи, створеної для визначення організації РЕР (РЕБ) та застосування сил і засобів виду оперативного забезпечення;

можливість та доцільність ітеративного підходу до внесення змін у системи відповідних документів із використанням методу експертного оцінювання.

Запропонований ітеративний підхід є вдосконаленим порівняно з експертним методом одночасного оцінювання необхідності внесення змін у всі види ОВТ та систему нормативного забезпечення застосування військ (сил) за призначенням щодо рівнів їх ієрархії.

На відміну від відомого, він враховує нові наукові підходи до оцінювання проєктів, що розробляються, та надає можливості:

зниження ризиків, завдяки ранньому виявленню конфліктів між вимогами НД і реалізацією проєкту, введенням в експлуатацію та бойовим застосуванням у підрозділах та частинах нового зразка ОВТ;

більшого зосередження на основних завданнях;
динамічного формування змін до вимог НД різного ієрархічного рівня.

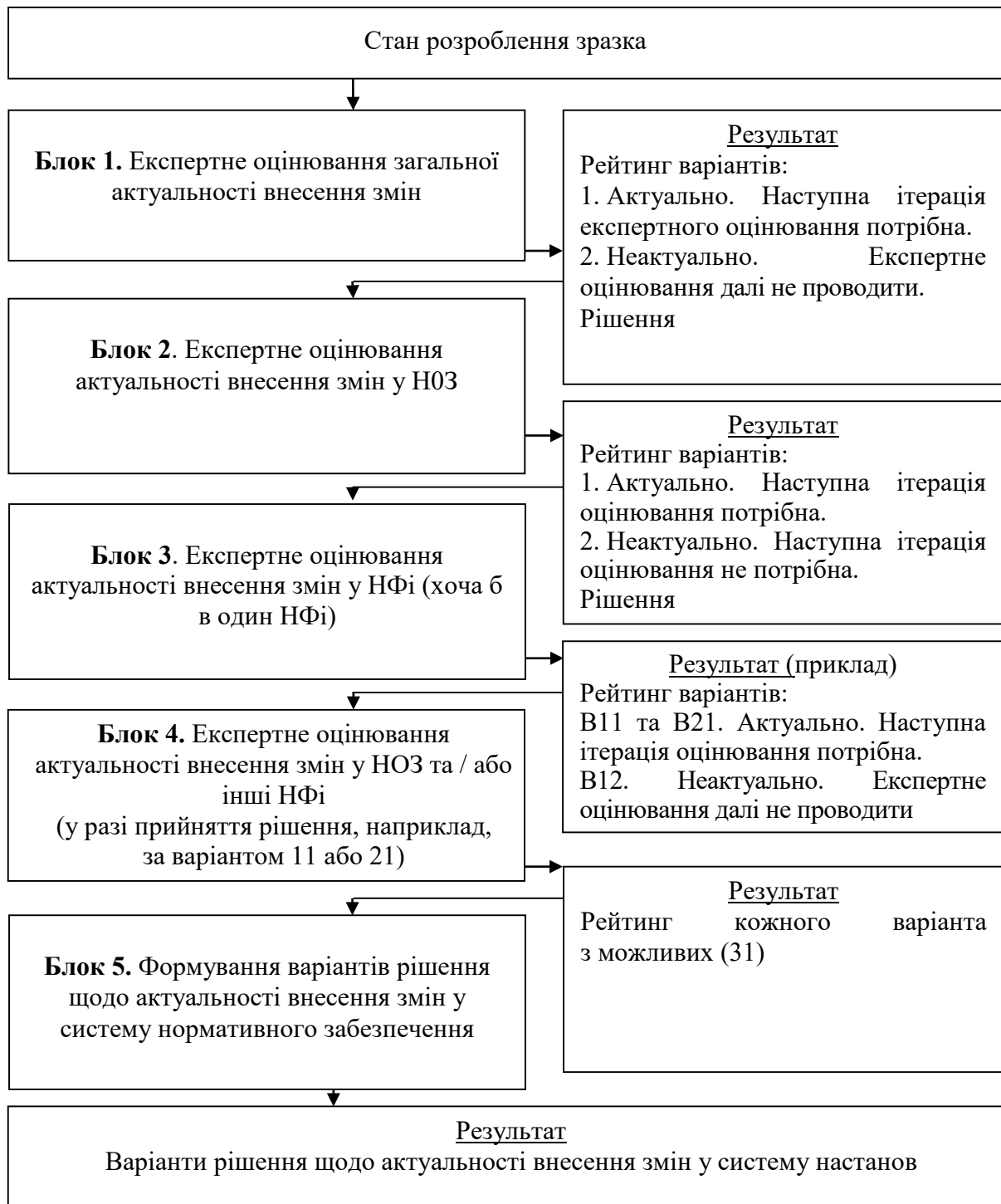


Рис. 4. Структура методики визначення необхідності внесення змін у настанови за ітеративним підходом

Запропонований підхід надає можливість організації ефективного зворотного зв'язку дослідників, розробників, експертів із замовником – органом військового управління в особі, яка приймає рішення, – щодо створення продукту (зразка ОВТ і нормативного забезпечення його застосування), що реально відповідає потребам збройної боротьби.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Візія Генерального штабу Збройних Сил України щодо розвитку Збройних Сил України на найближчі 10 років. URL: [www.mil.gov.ua.>news>2020/01/11](http://www.mil.gov.ua/news/2020/01/11) (дата звернення: 22.07.2020).
2. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. URL: [www.mil.gov.ua. /diyalnist/reformi-ta-planuvannya-u-sferi-oboroni/plani-ukraina-2020/rekomendaczii-z-oboronogo-planuvannya-na-osnovi-spromozhnostej-v-ministerstvi-oboroni-ukraini-ta-zbrojnih-silah-ukraini.html](http://www.mil.gov.ua/diyalnist/reformi-ta-planuvannya-u-sferi-oboroni/plani-ukraina-2020/rekomendaczii-z-oboronogo-planuvannya-na-osnovi-spromozhnostej-v-ministerstvi-oboroni-ukraini-ta-zbrojnih-silah-ukraini.html) (дата звернення: 22.07.2020).
3. Тимошенко Р. І., Лобко М. М., Бочарніков В. П., Свешніков С. В. Оборонне планування: загальна логіка, структура і взаємозв'язок документів // Наука і оборона. Київ, 2015. № 2. С. 15–21.
4. Полікашин В. С., Полікашин Ю. В., Поляков С. Ю. Основи управління і прийняття рішень у військовій справі : навч. посіб. Харків : Нац. юрид. акад. України, 2003. 120 с.
5. Орлів М. С. Підготовка і прийняття управлінських рішень : навч.-метод. матеріали. Київ : НАДУ, 2013. 40 с.
6. Саати Т. Метод анализа иерархий. Москва : «Радио и связь», 1993. 278 с.
7. Новосад В. П., Селіверстов Р. Г., Артım І. І. Кількісні методи експертного оцінювання : наук.-метод. розробка. Київ : НАДУ, 2009. 36 с.
8. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. Экспертные методы в оценке качества товаров. Москва : Экономика, 1974. 151 с.
9. Демидов Б. А., Величко А. Ф., Волощук И. В. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области. Книга 1. Концептуальные основы и элементы национальной безопасности : монография. Киев, 2004. 736 с.
10. Демидов Б. А. Теория и методы военно-научных исследований вооружения и военной техники : учебник. Харьков : ВИРТА ПВО им. Говорова Л. А., 1990. 558 с.
11. Демидов Б. А., Луханин М. И., Величко А. Ф., Науменко М. В. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники : монография. Киев : Стилос, 2011. 464 с.
12. Методичні рекомендації з фінансово-економічного обґрунтування вартості повного життєвого циклу спроможностей з урахуванням принципів та стандартів НАТО / Міністерство оборони України. URL: https://www.mil.gov.ua/content/oboron_plans/metod_recom_z_fin_ekon_life_ciklu_nato.pdf (дата звернення: 02.05.2021).
13. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016 (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, IDT) Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу систем. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71827 (дата звернення: 03.05.2021).
14. Удосконалений підхід до оцінювання носіїв спроможностей радіоелектронної боротьби за складовою вартості життєвого циклу / М. Ф. Пічугін, Я. М. Кожушко, Д. А. Іщенко та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3 (44). С. 131–140. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.15>
15. NATO STANDARD AAP-20 NATO PROGRAMME MANAGEMENT FRAMEWORK (NATO LifeCycleModel) Edition C Version 1. URL: <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/>

[ReferansDokumanlar/AAP-20%20NATO%20Life%20Cycle%20Model-Ekim%202015.pdf](#) (last accessed: 10.03.2021).

16. NATO STANDARD AAP-48:2013 NATO system life cycle processes. URL: <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-48%20NATO%20System%20Life%20Cycle%20Processes-Mart%202013.pdf> (last accessed: 10.03.2021).

17. Словник української мови. URL: <http://sum.in.ua/> (дата звернення: 22.04.2021).

18. Демідов Б. О., Хмелевська О. О. Системно-концептуальна модель управління життєвим циклом зразка озброєння і військової техніки. URL: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/848/soivt_2005_2_9.pdf (дата звернення: 22.05.2021).

19. Сіренко В. Є., Демченко Є. Я. Повний життєвий цикл озброєння та військової техніки у якості критеріальної ознаки програмно-цільового планування їх розвитку URL: <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/435/302/> (дата звернення: 22.07.2020).

20. Модель життєвого циклу програмного забезпечення. URL: https://pidruchniki.com/10050711/informatika/modeli_zhittyevogo_tsiklu_programnogo_zabezpechennya (дата звернення: 22.07.2020).

21. Ітеративна та інкрементна розробка. URL: http://fitm.nusta.edu.ua/mediawiki/index.php?title=Ітеративна_та_інкрементна_розробка (дата звернення: 22.07.2020).

22. Життєвий цикл програмного забезпечення. URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Життєвий_цикл_програмного_забезпечення_загальні_поняття (дата звернення: 22.07.2020).

23. Про питання військової стандартизації : наказ Міністерства оборони України від 24.02.2020 № 56 // База даних. Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0240-20#Text> (дата звернення: 22.07.2020).

24. 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. 73–85. ISSN 1997-9568 ISSN (Online) 2518-1580 ICV-76.

25. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Москва: Наука, 1981. 721 с.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2021.

REFERENCES

1. *Viziia Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy shchodo rozvytku Zbroinykh Syl Ukrainy na naiblyzhchi 10 rokiv [Vision of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine for the development of the Armed Forces of Ukraine for the next 10 years]*. (n.d.). Retrieved from www.mil.gov.ua.>news>2020/01/11 [in Ukrainian].

2. *Rekomendatsii z oboronnoho planuvannia na osnovi spromozhnostey v Ministerstvi obrony Ukrainy ta Zbroynnykh Sylakh Ukrainy [Recommendations on capability-based defense planning in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine]*. (n.d.). Retrieved from www.mil.gov.ua./diyalnist/reformi-ta-planuvannya-u-sferi-oboroni/plani-ukraina-2020/

rekomendaczii-z-oboronogo-planuvannya-na-osnovi-spromozhnostej-v-ministerstvi-oboroni-ukraini-ta-zbrojnih-silah-ukraini.html [in Ukrainian].

3. Tymoshenko, R. I., Lobko, M. M., Bocharnikov, V. P., & Svieshnikov, S. V. (2015). Oboronne planuvannya: zahalna lohika, struktura i vzaiemozv'iazok dokumentiv [Defense planning: general logic, structure and relationship of documents]. *Nauka i oborona [Science and Defense]*, № 2, 15–21. Kyiv [in Ukrainian].

4. Polikashyn, V. S., Polikashyn, Yu. V., & Poliakov, S. Yu. (2003). *Osnovy upravlinnia i pryŭniattia rishen u viŭskoviŭ spravi : navch. posib [Fundamentals of management and decision-making in military affairs]*. Kharkiv [in Ukrainian].

5. Orliv, M. S. (2013). *Pidhotovka i pryŭniattia upravlinskykh rishen : navch.-metod. materialy [Preparation and decision-making]*. Kyiv [in Ukrainian].

6. Saati, T. (1993). *Metod analiza ierarkhii [Hierarchy analysis method]*. Moscow [in Russian].

7. Novosad, V. P., Seliverstov, R. H., & Artym, I. I. (2009). *Kilkisni metody ekspertnoho otsiniuvannya : nauk.-metod. rozrobka [Quantitative methods of expert evaluation]*. Kyiv [in Ukrainian].

8. Azgal'dov, G. G., & Raikhman, E. P. (1974). *Ekspertnye metody v otsenke kachestva tovarov [Expert methods in assessing the quality of goods]*. Moscow [in Russian].

9. Demidov, B. A., Velichko, A. F., & Voloshchuk, I. V. (2004). Kontseptual'nye osnovy i elementy natsional'noi bezopasnosti [Conceptual Foundations and Elements of National Security]. In *Sistemno-kontseptual'nye osnovy deiatel'nosti v voenno-tekhnicheskoi oblasti [System-conceptual foundations of activities in the military-technical field]*. Kyiv [in Russian].

10. Demidov, B. A. (1990). *Teoriia i metody voenno-nauchnykh issledovaniĭ vooruzheniia i voennoi tekhniki : uchebnik [Theory and methods of military scientific research of weapons and military equipment]*. Kharkiv [in Russian].

11. Demidov, B. A., Lukhanin, M. I., Velichko, A. F., & Naumenko, M. V. (2011). *Sistemnaia metodologĭia planirovaniia razvitiia, predproektnykh issledovaniĭ i vneshnego proektirovaniia vooruzheniia i voennoi tekhniki : monografiia [Systematic methodology for development planning, pre-design research and external design of weapons and military equipment]*. Kyiv [in Russian].

12. *Metodychni rekomendatsii z finansovo-ekonomichnoho obgruntuvannya vartosti povnoho zhyttievoho tsykladu spromozhnostei z urakhuvanniam pryntsyypiv ta standartiv NATO [Guidelines for the financial and economic justification of the full life cycle cost of capabilities, taking into account NATO principles and standards]*. (n.d.). Ministry of Defence Ukraine. Retrieved from https://www.mil.gov.ua/content/oboron_plans/metod_recom_z_fin_ekon_life_ciklu_nato.pdf [in Ukrainian].

13. DSTU ISO/IEC/IEEE 15288:2016 (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, IDT) *Inzheneriia system i prohramnoho zabezpechennia. Protsesy zhyttievoho tsykladu system. [Systems and software engineering. Systems life cycle processes]*. (2016). Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71827 [in Ukrainian].

14. Pichuhin, M. F., Kozhushko, Ya. M., Ishchenko, D. A., Kyryliuk, V. A., Ishchenko, S. D., & Bepalko, O. V. (2021). Udoskonalenyi pidkhid do otsiniuvannya nosiiv spromozhnostei radioelektronnoi borotby za skladovoiu vartosti zhyttievoho tsykladu [An improved approach to the assessment of carriers of electronic warfare capabilities by the life cycle cost component]. *Nauka*

i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine], 3 (44), 131–140. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.15> [in Ukrainian].

15. NATO STANDARD AAP-20 NATO PROGRAMME MANAGEMENT FRAMEWORK (NATO LifeCycleModel) Edition C Version 1. (n.d.). Retrieved from <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-20%20NATO%20Life%20Cycle%20Model-Ekim%202015.pdf>

16. NATO STANDARD AAP-48:2013 NATO system life cycle processes. (n.d.). Retrieved from <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-48%20NATO%20System%20Life%20Cycle%20Processes-Mart%202013.pdf>

17. *Slovník ukraïnskoï movy [Dictionary of the Ukrainian language]*. (n.d.). Retrieved from <http://sum.in.ua/> [in Ukrainian].

18. Demidov, B. O., & Khmelevska, O. O. (n.d.). *Systemno-kontseptualna model upravlinnia zhyttievym tsyklom zrazka ozbroïennia i viiskovoi tekhniky [System-conceptual model of life cycle management of a sample of armaments and military equipment]*. Retrieved from http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/848/soivt_2005_2_9.pdf [in Ukrainian].

19. Sirenko, V. Ye., & Demchenko, Ye. Ya. (n.d.). *Povnyï zhyttievyyï tsykl ozbroïennia ta viïskovoi tekhniky u yakosti kryterialnoï oznaky prohramno-tsilovoho planuvannia yikh rozvytku [The full life cycle of armaments and military equipment as a criterion for program-targeted planning of their development]*. Retrieved from <https://journal.endiovt.com.ua/article/download/435/302/> [in Ukrainian].

20. *Model zhyttievoho tsyклу prohramnoho zabezpechennia [Software life cycle model]*. (n.d.). Retrieved from https://pidruchniki.com/10050711/informatika/modeli_zhittyevogo_tsiklu_programnogo_zabezpechennya [in Ukrainian].

21. *Iteratyvna ta inkrementna rozrobka [Iterative and incremental development]*. (n.d.). Retrieved from http://fitm.nusta.edu.ua/mediawiki/index.php?title=Iteratyvna_ta_inkrementna_rozrobka [in Ukrainian].

22. *Zhyttievyyi tsykl prohramnoho zabezpechennia [Software life cycle]*. (n.d.). Retrieved from https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Zhyttievyyi_tsykl_prohramnoho_zabezpechennia_zahalniponiattia [in Ukrainian].

23. 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 dated 24.02.2020 № 56]. *Baza danykh. Zakonodavstvo Ukrainy [Database. Legislation of Ukraine]*. Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0240-20#Text> [in Ukrainian].

24. 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 space observation objects in the interests of information support of space support groups]. *Systemy ozbroïennia i viiskovoi tekhniky [Weapons systems and military equipment.]*, Vol. 4 (64), 73–85. ISSN 1997-9568 ISSN (Online) 2518-1580 ICV-76. Kharkiv: KNAFU [in Ukrainian].

25. Bronshtein, I. N., & Semendiaev, K. A. (1981). *Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchashchikhsia vtuzov [A guide to mathematics for engineers and college students]*. Moscow [in Russian].

D. A. Ishchenko, V. A. Kyryliuk, L. M. Maryshchuk, S. D. Ishchenko

ITERATIVE APPROACH TO THE FORMATION OF SOLUTION TO IMPROVE THE FORCES AND MEANS OF COMBAT (OPERATIONAL) SUPPORT

The article considers iterative methods of expert assessments for research on the relevance of improving forces and means of combat (operational) support for the purpose of use of military units (units), which are planned to be equipped with new (upgraded) models of weapons. The improvement of forces and means is formally considered as changes in armaments, military equipment and documents regulating the basics of training and use of troops (forces) for their intended purpose. Such documents may be the combat statutes of the types of troops of the Armed Forces of Ukraine, as well as documents of the regulatory framework for the organization of types of support and the use of military units and units - forces and means of the relevant type of support.

The improvement of forces and means in terms of content is studied as a component of the acquisition of capabilities from combat (operational) support, belonging to the functional groups (integrated category) capabilities: "Protection and survivability" (PROTECT) and "Intelligence" (INTELLIGENCE).

Formation of decision to improve the forces and means of combat (operational) support is considered as part of study of the relevance of changes in regulations.

The expediency of the iterative approach and expert assessment of the relevance of changes in regulatory documents in accordance with the degree of work on the development and adoption of military units (units) of the equipment by type of combat (operational) support, including parallel continuous research (analysis) of the results and adjusting previous stages of work.

The proposed iterative approach is improved compared to the expert method of simultaneous assessment of the need to make changes in all components of forces and means of combat (operational) support of different levels of their hierarchy: weapons, military equipment and documents of the general system of normative support of troops (forces).

Recommendations for the use of the proposed approach by military authorities to increase the effectiveness of regulatory support for the use of forces and means of combat (operational) support.

Keywords: *algorithm; expert method; iteration; iterative approach; attitude; regulatory document.*

О. М. Гумен, Г. О. Кушнарџова

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ В РОЗРОБЛЕННІ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОСТОРОВИХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ З ОБМЕЖЕНИМ ПРОСТОРОМ У ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ

Стаття присвячена дослідженню простору параметрів мікроклімату в приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин озброєння та військової техніки. Розроблено комп'ютерні просторові моделі із залученням проєктно-орієнтованого підходу. Наведено особливості реалізації компонентів нового методичного підходу до процесу дослідження параметрів мікроклімату в приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин озброєння та військової техніки. Поєднання фізичного і математичного моделювання з використанням апарату прикладної багатовимірної геометрії може скласти інструментальну основу для цільового дослідження подібних процесів у приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, апаратних машин з обмеженим простором у військовій техніці, а також унаочнення засобами інформаційних графічних технологій впливу окремих параметрів теплового чи вентиляційного режиму на мікроклімат із замкнутим простором.

Показано, що результативним є використання фізичного моделювання із залученням відповідного експериментального устаткування та застосування одержаних експериментальних результатів для геометричного моделювання на засадах прикладної багатовимірної геометрії. Виділено основні температурний і вентиляційний режими. Побудовано моделі із залученням графічних інформаційних технологій для досліджуваних режимів із застосуванням методів проєкціювання у фазові площини різних розмірностей, які дозволяють на основі фізичного аналізу конкретного режиму оцінювати результативність роботи запропонованих технічних засобів підвищення ефективності системи інфрачервоного опалення і вентиляції в приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень з обмеженим простором у військовій техніці.

Запропонований алгоритм дослідження дозволяє з достатньою точністю для інженерних розрахунків визначати залежно від умов технологічного процесу параметри мікроклімату в приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин озброєння та військової техніки, які здатні враховувати зазначені особливості. Розроблені комп'ютерні моделі унаочнюють взаємодію різномірних параметрів, сприяють ефективності вирішення завдань аналізу, керування, діагностики показників мікроклімату.

Ключові слова: комп'ютерна модель; приміщення бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин озброєння та військової техніки; мікроклімат; параметри; фізичне і геометричне моделювання.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Забезпечення результативного проведення технологічних процесів є важливим завданням на сучасному етапі розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ), яке передбачає раціональне використання ресурсів

© О. М. Гумен, Г. О. Кушнарџова, 2021

з одночасним забезпеченням належної якості. Головними елементами необхідних умов у приміщенні бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин з обмеженим простором у військовій техніці є такі складові комфорту, як температура повітря і його чистота. Для забезпечення нормативних вимог застосовують нагрівачі та вентиляційні системи. Результативна їх робота можлива за умови використання раціональних режимів експлуатації відповідного технологічного устаткування.

Розроблення належних підходів до створення систем опалення та вентиляції приміщень бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин з обмеженим простором у військовій техніці, вибір засобів та дослідження їх режимів є одним із перспективних напрямків подальшого розвитку та вдосконалення військової техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, що стосуються наукових досліджень мікроклімату приміщень різного призначення, вказує на прямий вплив технологічної системи забезпечення мікроклімату на перебіг процесу. Параметри мікроклімату, зокрема температура повітря й вентиляція, досліджуються в наукових розвідках окремо. Так, у [1] розглянуто процес утилізації теплоти витяжним зонтом. Наукові праці [2, 3] подають результати дослідження у вигляді ізотерм температурного поля в приміщеннях з урахуванням роботи системи місцевої вентиляції.

Наукові публікації дещо розрізнені, стосуються тих чи інших аспектів дослідження комфортного перебування в приміщенні та техніці; у них відсутній методологічно обґрунтований науковий підхід до процесу організації та вибору засобів опрацювання одержаних експериментальних результатів з урахуванням комплексного підходу до організації та реалізації технологічного процесу. Недостатньо висвітленим виявилось питання розроблення засобів оброблення графічних експериментальних даних із залученням апарату геометричного моделювання [4–7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми вказує на обмежену кількість наукових публікацій з її окремого напрямку, що стосується забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях та робочих місцях спеціальної (військової) техніки [8, 9].

Формулювання завдання дослідження. Мета статті полягає в тому, щоб запропонувати універсальні образні геометричні моделі процесів теплових і вентиляційних режимів на засадах залучення засобів математичного моделювання для дослідження параметрів мікроклімату бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень з обмеженим простором апаратних машин.

Виклад основного матеріалу. У процесі ініціації проекту ухвалюються принципові рішення про створення й облаштування бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин з обмеженим простором у військовій техніці відповідно до її призначення. Планування проекту визначає його мету й особливості ресурсного забезпечення технологічного процесу в бойових відділеннях броньованої техніки, відділень з обмеженим простором апаратних машин [6]. На цьому етапі важливо розробити відповідні заходи і вжити їх для забезпечення належних умов технологічного процесу. Зрозуміло, що одним із важливих моментів у його реалізації є забезпечення проведення пріоритетних наукових досліджень щодо впливу параметрів мікроклімату

(основними виділимо температуру повітря в приміщенні і вентиляцію) на технологічний процес, передусім надання рекомендацій з метою забезпечення раціональних значень параметрів мікроклімату відповідно до нормативних документів. Для проведення досліджень лабораторне устаткування повинно бути універсальним і забезпечувати їх реалізацію в повному обсязі.

Відповідно до завдань змонтовано універсальну лабораторну установку, здатну слугувати інструментарієм для проведення досліджень (рис. 1).

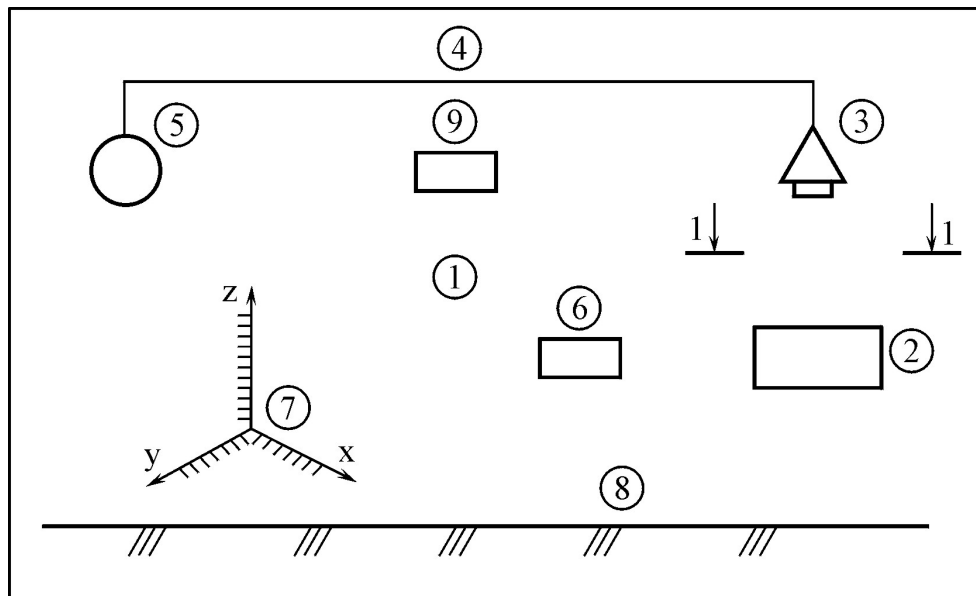


Рис. 1. Схема лабораторної установки

Лабораторна установка, розташована в приміщенні 1, містить інфрачервоний нагрівач 2, над яким встановлено витяжний зонтик 3, з'єднаний трубопроводом 4 із вентилятором 5. Для вимірювання температури в довільній точці простору приміщення 1 передбачений термометр 6 з координатором 7, встановленим на підлозі 8. Комутуючі пристрої, потрібні для формування із наведеного устаткування схеми цільового призначення, умовно не зображені.

Для довільного перерізу 1-1 (рис. 1) під витяжним зонтом проводилася січна площина, паралельна одній із площин xz координатора 7. Результати вимірювань подані ізотермами в січній площині з вимірами висоти приміщення h та координати x приміщення 1 у разі сталого значення координати y , тобто ширини кімнати (рис. 2). Порівняльний аналіз графічних залежностей вказує на суттєвий вплив роботи місцевої витяжної вентиляції на характер температурного поля в приміщенні бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин у військовій техніці.

Порівняльний аналіз рис. 2а, б дає можливість визначити характер ізотерм, тобто вплив місцевої витяжної вентиляції на їх розташування у січній площині. Розглянемо зміни Δh висоти ізотерми на певному проміжку Δx . Спільним для даних ізотерм є проміжок $\Delta x = 0,3 \dots 0,8$ м.

Наступним етапом процесу досліджень теплового і вентиляційного режиму бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин ОВТ є визначення кількості утилізованої теплоти. Це можна реалізувати на експериментальній лабораторній установці (рис. 1): за увімкненого інфрачервоного нагрівача 2 повітря утилізувалося через

витяжний зонт 3 і трубопровід 4. Зафіксовано експериментальні залежності кількості локалізованої зонтом 3 теплоти від витрати витяжного повітря. Аналогічно аналізуємо всі потрібні параметри мікроклімату приміщення бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин ОБТ.

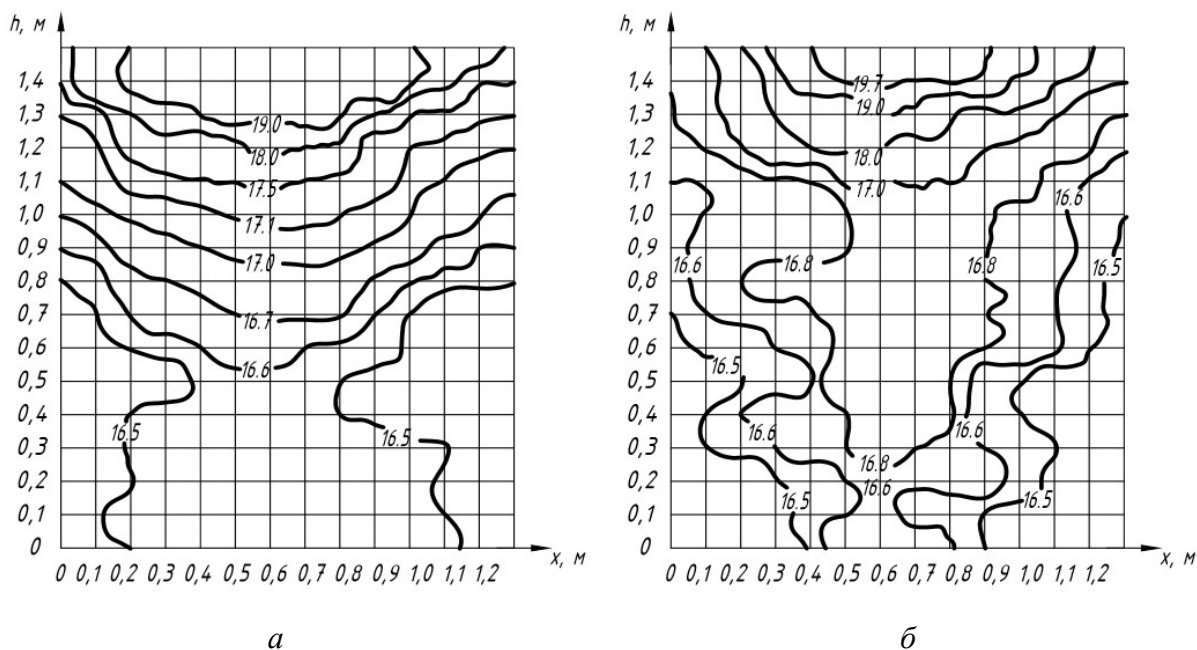


Рис. 2. Ізотерми січної площини 1-1

Графічні залежності, побудовані за експериментальними даними, дають можливість визначити результативність витяжної вентиляції (рис. 3).

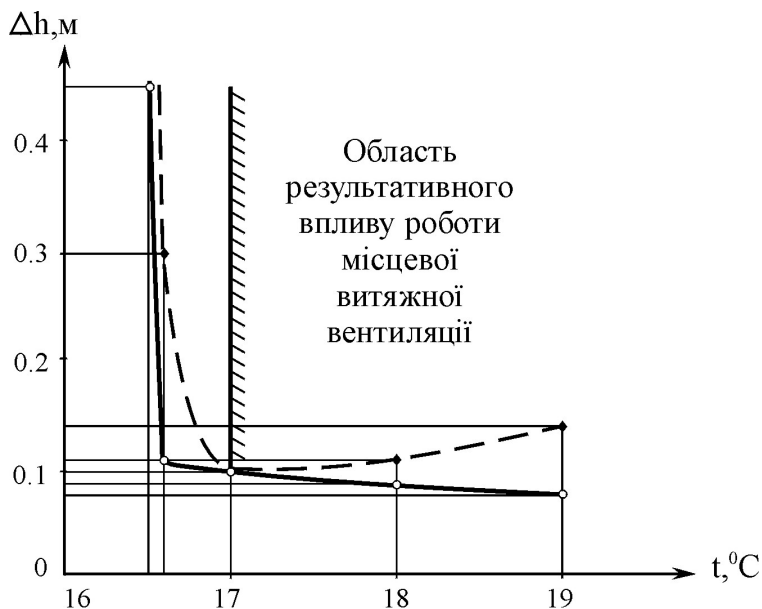


Рис. 3. Визначення області результативного впливу роботи місцевої витяжної вентиляції:

- без роботи місцевої витяжної вентиляції;
- з роботою місцевої витяжної вентиляції

У процесі наукових досліджень теплового поля з використанням експериментально одержаних ізотерм (рис. 2) виникає необхідність використання тих ізотерм, які відсутні на графіку. Побудувати їх можна, якщо вважати такі лінії результатом перетину поверхні температурного поля січними горизонтальними площинами рівня при заданому необхідному значенні температури.

Покажемо послідовність побудови ізотерми для значення температури, наприклад, $18,5$ у випадку роботи системи місцевої витяжної вентиляції.

Виділимо дві сусідні ізотерми, в даному випадку це ізотерми із значеннями температури $18,0$ і $19,0$ (рис. 4).

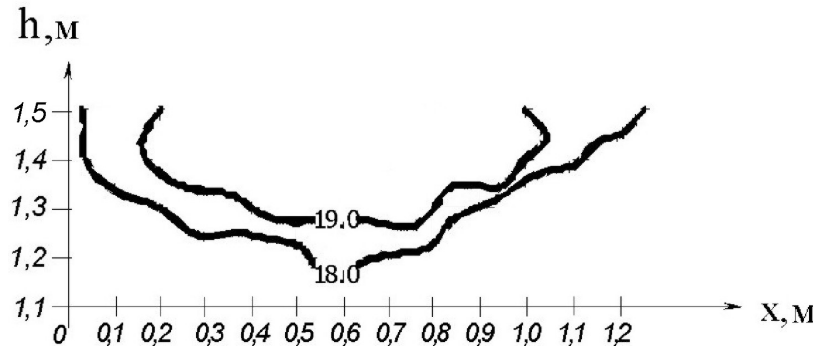


Рис. 4. Вибір ізотерм температурного поля

Будуємо комплексний графік частини температурного поля зі значеннями ізотерм $18,0$ і $19,0$ (рис. 5).

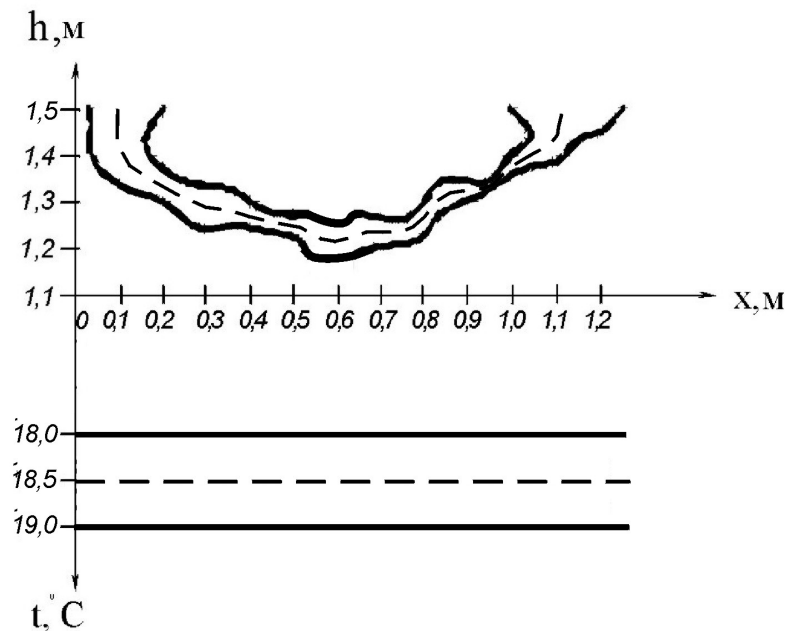


Рис. 5. Комплексний графік частини температурного поля приміщення бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин ОБТ

Зазвичай необхідні лінії рівня поверхні температурного поля будують, провівши січну площину рівня $18,5$ посередині між площинами зі слідами $18,0$ і $19,0$ (рис. 5).

Враховуючи, що поверхня температурного поля гладка, лінія перетину поверхні температурного поля січною площиною рівня 18,5 є еквідистантною відносно ліній, ізотерм зі слідами 18,0 і 19,0 (на рис. 5 вказано штриховою лінією).

Запропонований комплексний графік дає можливість визначати температуру повітря в довільній точці поверхні теплового поля.

Комплексний графік на рис. 5 подає дві проєкції температурного поля в просторі $Oxht$. За такими проєкціями засобами графічних інформаційних технологій можна будувати 3D модель температурного поля досліджуваного приміщення бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин ОВТ (рис. 6).

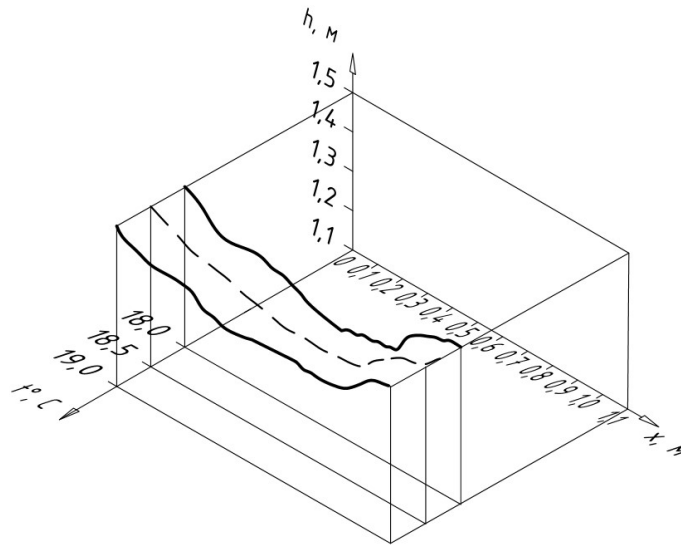


Рис. 6. 3D модель частини температурного поля досліджуваного приміщення бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин ОВТ

Комп'ютерна модель розподілу температур у приміщенні бойових відділень броньованої техніки, робочих відділень апаратних машин з обмеженим простором дозволяє здійснювати аналіз і діагностику показників мікроклімату, керування зміною різних параметрів технологічного процесу.

Висновки. Розроблені моделі на основі експериментально-аналітичної ідентифікації процесів у приміщеннях бойових відділень броньованої техніки, відділень апаратних машин з обмеженим простором у військовій техніці забезпечують широкий діапазон розрахунку режимів і параметрів мікроклімату, точність і адекватність результату. З урахуванням багатопараметричності процесу запропоновано засоби багатовимірної прикладної геометрії для побудови образної геометричної моделі у вигляді комплексного графіка багатовимірного евклідового простору. Розроблені комп'ютерні моделі простору параметрів мікроклімату можуть бути використані для облаштування систем вентиляції в приміщенні бойових відділень броньованої техніки з обмеженим простором апаратних машин.

Перспектива подальших досліджень – моделювання в приміщеннях бойових відділень броньованої військової техніки за допомогою одержаних геометричних моделей із залученням графічних інформаційних технологій для досліджуваних режимів інфрачервоного опалення і вентиляції.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Gumen O., Spodyniuk N., Ulewicz M., Martyn Ye. Research of thermal processes in industrial premises with energy-saving technologies of heating // *Diagnostyka*. 2017. Vol. 18. № 2. P. 43–49.
2. Сподинюк Н. А., Желих В. М. Дослідження ефективності роботи витяжного зонтика конструкції інфрачервоного нагрівача // *Теорія і практика будівництва : Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 235–238.
3. Сподинюк Н. А., Желих В. М. Забезпечення мікроклімату в приміщеннях пташників // *Теорія і практика будівництва: Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2008. № 627. С. 197–200.
4. Гумен О. М., Мартин Є. В. Гіперповерхні траєкторій фазових n -просторів // *Сучасні проблеми моделювання*. 2019. № 15. С. 66–72.
5. Гумен О. М., Ляковська С. Є. Геометрія проєктивних n -просторів щодо перебігу технологічних процесів у дослідженнях багатопараметричних систем // *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Мелітополь, 2011. Вип. 4, Т. 49. С. 89–94.
6. Мартин Є. В., Герговський О. І., Ляковська С. Є. Інформаційні технології в геометричному моделюванні технічних об'єктів // *Науковий вісник ТДАТУ*. 2020. № 20 (3). С. 218–230.
7. Гумен О. М., Ляковська С. Є., Мартин Є. В. Багатовимірна геометрія у прикладних задачах // *Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 3 (58). С. 497–500.
8. Bauer D., Heeger M., Gebhard M., Benecke W. Design and fabrication of a thermal infrared emitter // *Sensors and Actuators a-Physical*. 1996. Vol. 55, No. 1. P. 57–63.
9. Bolotskih N. N. Improvement of the method of experimental investigation of the temperature distribution in the room with radiation heaters // *Journal of Building*. 2007. № 43. P. 276–279.

Стаття надійшла до редакції 27.08.2021.

REFERENCES

1. Gumen, O., Spodyniuk, N., Ulewicz, M., & Martyn, Ye. (2017). Research of thermal processes in industrial premises with energy-saving technologies of heating. *Diagnostyka [Diagnostics]*, Vol. 18, № 2, 43–49.
2. Spodyniuk, N. A., & Zhelykh, V. M. (2010). Doslidzhennia efektyvnosti roboty vytyazhnoho zontika konstruktsii infrachervonoho nahrivacha [Research of efficiency of work of an exhaust umbrella of a design of an infrared heater]. *Teoriia i praktyka budivnytstva: Visnyk NU «Lvivska politekhnika» [Theory and practice of construction: Bulletin of Lviv Polytechnic National University]*, № 664, 235–238 [in Ukrainian].
3. Spodyniuk, N. A., & Zhelykh, V. M. (2008). Zabezpechennia mikroklimatu v prymishchenniakh ptashnykiv [Providing a microclimate in poultry houses]. *Teoriia i praktyka budivnytstva: Visnyk NU «Lvivska politekhnika» [Theory and practice of construction: Bulletin of Lviv Polytechnic National University]*, № 627, 197–200 [in Ukrainian].

4. Gumen, O. M., & Martyn, Ye. V. (2019). Hiperpoverkhni traiektorii fazovykh n-prostoriv [Hypersurfaces of trajectories of phase n-spaces]. *Suchasni problemy modeliuвання [Modern problems of modeling]*, № 15, 66–72 [in Ukrainian].
5. Gumen, O. M., & Liaskovska, S. Ye. (2011). Heometriia proektyvnykh n-prostoriv shchodo perebihu tekhnolohichnykh protsesiv u doslidzhenniakh bahatoparmetrychnykh system [Geometry of projective n-spaces in relation to the course of technological processes in studies of multiparameter systems]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika [Applied Geometry and Engineering Graphics]*, Vol. 4, Iss. 49, 89–94. Melitopol [in Ukrainian].
6. Martyn, Ye. V., Herhovskiyi, O. I., & Liaskovska, S. Ye. (2020). Informatsiini tekhnolohii v heometrychnomu modeliuvanni tekhnichnykh ob'iektiv [Information technologies in geometric modeling of technical objects]. *Naukovyi visnyk TDATU [Scientific herald of TSATU]*, № 20 (3), 218–230 [in Ukrainian].
7. Gumen, O. M., Liaskovska, S. Ye., & Martyn, Ye. V. (2016). Bahatovymirna heometriia u prykladnykh zadachakh [Multidimensional geometry in applied problems]. *Visnyk Khersonskoho nats. tekhn. un-tu [Bulletin of the Kherson National Technical University]*, Vol. 3 (58), 497–500 [in Ukrainian].
8. Bauer, D., Heeger, M., Gebhard, M., & Benecke, W. (1996). Design and fabrication of a thermal infrared emitter. *Sensors and Actuators a-Physical*, Vol. 55, № 1, 57–63.
9. Bolotskiy, N. N. (2007). Improvement of the method of experimental investigation of the temperature distribution in the room with radiation heaters. *Journal of Buildin*, № 43, 276–279.

O. M. Gumen, G. O. Kushnarova

APPLICATION OF A PROJECT-ORIENTED APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF COMPUTER SPATIAL MODELS OF MICROCLIMATE PARAMETERS WITH LIMITED SPACE IN MILITARY EQUIPMENT

The article is devoted to the study of the space of parameters of the microclimate of premises in the fighting compartments of armored vehicles, working compartments of hardware vehicles of weapons and military equipment. Development of computer spatial models using a project-oriented approach. The article presents the features of the implementation of the components of a new methodological approach to the process of studying the microclimate parameters in the rooms of the fighting compartments of armored vehicles, the working compartments of the hardware vehicles of weapons and military equipment. Structurally made on the basis of a combination of physical and mathematical modeling using the apparatus of applied multidimensional geometry, which constitutes the instrumental basis for the targeted study of such processes in the rooms of the combat compartments of armored vehicles, the working compartments of the military hardware machines, as well as illustration by means of information graphic technologies of the influence of individual parameters of thermal or ventilation regime for the microclimate in a confined space.

It is shown that the use of physical modeling with the involvement of appropriate experimental equipment and the use of the obtained experimental results for geometric modeling based on applied multidimensional geometry is effective. The main modes that provide a proper microclimate, that is, temperature and ventilation conditions, are highlighted. The constructed models with the involvement of graphic information technologies for the modes under study

using methods of projection into phase planes of various dimensions, which allow, on the basis of a physical analysis of a specific mode, to evaluate the performance of the proposed technical means of increasing the efficiency of the infrared heating and ventilation system in the rooms of the fighting compartments of armored vehicles, working compartments hardware weapons and military equipment.

The proposed research algorithm allows, with sufficient accuracy for engineering calculations, to determine, depending on the conditions of the technological process, the microclimate parameters in the rooms of the combat compartments of armored vehicles, the working compartments of hardware vehicles of weapons and military equipment, which are able to take into account these features. The developed computer models illustrate the interaction of heterogeneous parameters that contribute to the effectiveness of solving problems of analysis, control, diagnostics of microclimate indicators.

Keywords: *computer model, rooms for fighting compartments of armored vehicles, working compartments of hardware weapons and military equipment, microclimate, parameters, physical and geometric modeling.*

Н. П. Ісмаїлова, Т. М. Могилянecь

АЛГОРИТМІЧНІ ФОРМУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ В РАЗІ ПРОЄКТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР

У сучасних системах автоматичного проєктування складних виробів військової техніки все більш широко застосовують алгоритмічні побудови спряжених моделей криволінійних поверхонь на основі комп'ютерних технологій, що виключають інтерференцію. Це дає потужний поштовх для розвитку формування спряжених поверхонь і стимулює пошуки нових шляхів удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей на верстатах з інформаційно-керуючою системою. Зокрема, це стосується технологічних операцій на верстатах з числовим програмним управлінням. Одним із головних напрямків моделювання кінематичних пар слід вважати вивчення та конструювання форм поверхонь у тісному взаємозв'язку з тими умовами роботи конструкцій в озброєнні та військовій техніці, у яких планується їх використовувати. Форми складних криволінійних поверхонь впливають на надійність і довговічність роботи механізмів в озброєнні та військовій техніці, тому вимагають ретельніше враховувати зовнішні умови в ході проєктування. Приділяється велика увага конструюванню поверхонь з урахуванням усе більшої кількості прогнозованих завдань, умов формоутворення криволінійних поверхонь кінематичних пар. Застосування алгоритмічних побудов спряжених кінематичних пар для інформаційно-керуючої системи під час виготовлення реальних поверхонь військової техніки, які отримують у результаті штампування, створення, відображає реальний фізичний процес та є актуальною проблемою.

За останні роки для виготовлення точних високоякісних виробів кінематичних пар у військовій техніці й озброєнні широко стали застосовувати складні криволінійні поверхні, які вимагають розробки геометричного й математичного апарату щодо їх моделювання. Запропоновано алгоритмічне моделювання криволінійних перетворень для формування спряжених поверхонь кінематичних пар на базі параметричного кінематичного гвинта, що дозволить виключити інтерференцію в разі їх виготовлення.

Ключові слова: *кінематичний метод; геометрична форма; спряжені поверхні; інтерференція; параметри; алгоритмічна побудова; інформаційно-керуюча система; спряжені моделі; кінематичні поверхні.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. На сьогодні актуальним є формування алгоритмічних спряжених моделей криволінійних поверхонь, що виключають інтерференцію під час обробки кінематичних пар в озброєнні та військовій техніці (ОВТ). Вільні від інтерференції кінематичні пари в ОВТ дозволяють уникнути підрізання зубів і небезпечної концентрації напружень. Також підвищується точність у системах наведення зброя і надійність у ході їх експлуатації.

© Н. П. Ісмаїлова, Т. М. Могилянecь, 2021

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням формування криволінійних поверхонь, що виключають інтерференцію, присвячені роботи [1–3], а формуванню геометричної, математичної та комп'ютерної моделі нелінійчатих поверхонь – [4–7]. Поява в космонавтиці, машинобудуванні, авіаційній, інструментальній, військовій промисловості системи наведення в озброєнні актуалізувало завдання розробки принципово нових алгоритмічних формувань криволінійних поверхонь, що виключають інтерференцію. У роботі професора А. Н. Подкоритова інтерференція визначена як явище, яке має місце, коли частина простору зайнята двома або більше суцільними тілами одночасно [2].

Формулювання завдання дослідження. Розробити алгоритмічні формування спряжених моделей для інформаційно-керуючої системи в ході проектування кінематичних пар, що виключають інтерференцію на цій стадії.

Виклад основного матеріалу. У теорії машин і механізмів інтерференція свідчить про контакт профілів спряжених зубчатих коліс. У межах, де немає доступного простору, вершина рухомого зуба впроваджується або стикається з бічної сторони іншого також рухомого зуба. Коли зубці колеса виготовляють у виробничому процесі, то інтерференція проявляється як подрізання.

Базою для розробки алгоритмічного формування спряжених моделей для інформаційно-керуючої системи в разі проектування кінематичних пар є доведена теорема [1]: якщо кожному зі спряжених гвинтових поверхонь Σ_A і Σ_B розглядати як попарно спряжені аксоїди Φ_A і Φ_B , що задовольняють діаграму кінематичного гвинта, тоді кожна точка контакту поверхонь Σ_A і Σ_B визначається як точка дотику характеристик аксоїдів Φ_A і Φ_B з поверхнею Σ_A (рис. 1).

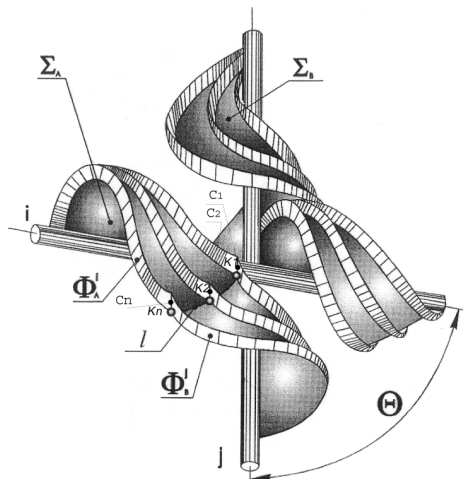


Рис. 1. Формування спряжених криволінійних поверхонь із лінійним контактом

З теореми відомо, що через кожен точку характеристики аксоїдів проходить загальна нормаль спряжених поверхонь. Характеристика аксоїдів є променем лінійного комплексу відносно руху поверхонь Σ_A і Σ_B . Тому в точках K_1, K_2, \dots, K_n дотику характеристик c_1, c_2, \dots, c_n спряжених аксоїдів із поверхнею Σ_A будуть загальні нормалі для спряжених криволінійних поверхонь Σ_A та Σ_B , тобто точки контакту належатимуть лінії контакту K_1, K_2, \dots, K_n спряжених криволінійних поверхонь Σ_A і Σ_B .

Розглянемо алгоритмічне моделювання спряжених криволінійних поверхонь Σ_A криволінійним перетворенням вихідної криволінійної поверхні $\Phi(\sigma, \tau)$ (рис. 2).

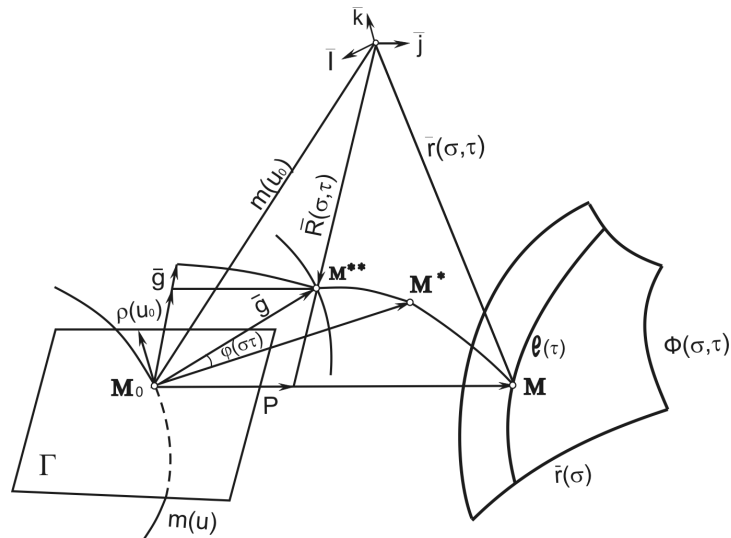


Рис. 2. Алгоритмічне моделювання спряжених поверхонь

Виберемо на створеній $l(\tau)$ вихідній (початковій) поверхні $\Phi(\sigma, \tau)$ деяку точку M і знайдемо її проекцію M_0 на криву m . Точка M застосовується одночасно у двох рухах: у поступальному й обертальному – навколо осі $r(u)$, що збігається із дотичною до кривої m у точці M_0 . Здійснюючи аналогічні криволінійні перетворення всіх інших точок створеної $l(\tau)$ поверхні Φ , отримаємо гвинтову лінію поверхні Σ_B .

Кожна лінія $l(\tau)$ криволінійної вихідної поверхні Φ формується в загальну гвинтову лінію $l(\sigma, \tau, \varphi(\sigma, \tau))$ з перемінним кроком. Сімейство ліній $l(\sigma, \tau, \varphi(\sigma, \tau))$ задає криволінійну поверхню Σ_B .

Для формування алгоритмічної моделі контактної криволінійної поверхні Σ вважаємо, що точка M задана радіусом-вектором $r(\sigma, \tau)$, де σ і τ – криволінійні координати точки M на поверхні Φ (рис. 2). Нехай також задана деяка вісь $m(u)$ своїм радіусом-вектором $m(u)$, де u визначає положення точки на осі $m(u)$. Нехай положення точки M_0 на осі $m(u)$ визначається значенням u_0 . Позначимо через $\rho(u_0)$ одиничний дотичний вектор із криволінійною віссю $m(u)$ у точці M_0 , тоді значення u_0 задовольняє таке співвідношення: $m(u_0) \cdot \rho(u_0) = 0$. Отже, $u_0 = u_0(\sigma, \tau)$.

Нехай $R(\sigma, \tau)$ визначає положення точки M^* . Тоді

$$R(\sigma, \tau) = m(u) + (r(\sigma, \tau) m(u) \cdot \cos \varphi + \rho(u) \times (\rho(u) \cdot r(\sigma, \tau) - m(u))) \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

де $\varphi = \varphi(\sigma, \tau)$ – кут обертання M^* , що лежить на поверхні Φ ;

$m(u)$ – радіус-вектор криволінійної осі m ;

$\rho_0(u_0)$ – одиничний вектор дотичної до осі m ;

$r(\sigma, \tau)$ – радіус-вектор точки M на поверхні Φ ;

σ, τ – криволінійні координати точки M .

Алгоритм побудови спряжених криволінійних поверхонь виключає інтерференцію в разі проєктування кінематичних пар і визначає контактну поверхню між двома спряженими поверхнями.

Визначимо профіль криволінійної поверхні в перетині перпендикуляром її осі обертання, заданий в рухомій системі координат $X_1 Y_1$ у такий спосіб (рис. 3):

$$X_1 \left\{ \begin{array}{l} f_1(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_0, \varphi_1] \\ f_2(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2] \\ \dots \\ \dots \\ f_k(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_{k-1}, \varphi_k] \end{array} \right. ;$$

$$Y_1 \left\{ \begin{array}{l} g_1(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_0, \varphi_1] \\ g_2(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2] \\ \dots \\ \dots \\ g_k(\varphi), \text{ якщо } \varphi \in [\varphi_{k-1}, \varphi_k] \end{array} \right. ,$$

(2)

де $X_1 = f(\varphi)$; $Y_1 = g(\varphi)$ – параметричні рівняння закономірної ділянки AB з параметром φ криволінійного профілю l ;

$[\varphi_0, \varphi_1]$ – межі зміни параметра φ на ділянці AB .

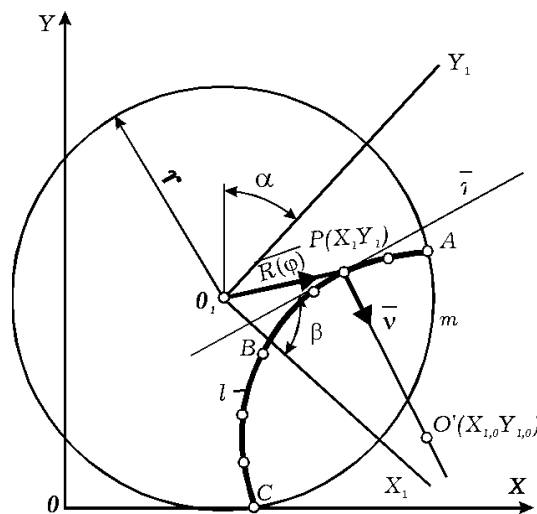


Рис. 3. Профіль криволінійної поверхні в перетині, визначений за перпендикуляром осі обертання

Нехай також для криволінійного профілю l виконані такі умови:

неперервності:

$$\begin{aligned} f_i(\varphi_i) &= f_{i+1}(\varphi_i); \\ g_i(\varphi_i) &= g_{i+1}(\varphi_i), \quad i = 1, 2, \dots, k-1; \end{aligned} \quad (3)$$

гладкості 1-го порядку:

$$\frac{g'_{i+1}(\varphi_i)}{f'_{i+1}(\varphi_i)} = \frac{g_{i+1}(\varphi_i)}{f_{i+1}(\varphi_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, k-1. \quad (4)$$

У проміжку між профілем l і центральною m не проходить перетин нормалей до профілю l між собою. Визначення формоутворення профілю криволінійної поверхні Σ_A , спряженої із заданою криволінійною поверхнею Σ_B , здійснюється за такою схемою. Рівняння формоутворення профілю виробу в нерухомій системі координат XU у разі повороту на кут α мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \alpha + x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha; \\ y &= r - x_i \sin \alpha + y_i \cos \alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

де $x_i = f_i(\varphi)$, якщо $\varphi \in [\varphi_{i-1}, \varphi_i]$, $i = 1, 2, \dots, k$;

$y_i = g_i(\varphi)$, якщо $\varphi \in [\varphi_{i-1}, \varphi_i]$, $i = 1, 2, \dots, k$.

З умови колінеарності дотичної вектора до формоутворення профілів кінематичної пари в точці дотику маємо

$$\frac{dx}{d\alpha} \cdot \frac{dy}{d\varphi} - \frac{dx}{d\varphi} \cdot \frac{dy}{d\alpha} = 0. \quad (6)$$

Знайшовши визначник (6), отримаємо рівняння зв'язку між параметром φ і α :

$$\varphi = \bar{h}_i(\alpha), \quad \text{якщо } \varphi \in [\varphi_{i-1}, \varphi_i], \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (7)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (7) і (5), отримаємо рівняння формоутворення профілю вихідної (початкової) криволінійної поверхні в нерухомій системі координат XU :

$$\begin{aligned} x &= r\alpha + f_i(\bar{h}_i(\alpha)) \cdot \cos \alpha + g_i(\bar{h}_i(\alpha)) \cdot \sin \alpha; \\ x &= r - f_i(\bar{h}_i(\alpha)) \cdot \sin \alpha + g_i(\bar{h}_i(\alpha)) \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (8)$$

Алгоритмічне формування моделі спряжених криволінійних поверхонь дозволяє виключати інтерференцію й автоматизувати проектування завдяки інформаційно-керуючій системі з числовим програмним управлінням, що підвищує точність і продуктивність розрахунково-графічних робіт у ході проектування кінематичних пар в ОБТ.

Висновки. З метою підвищення точності й надійності широкого класу виробів космічних кораблів, авіації, військової промисловості, машинобудування, розроблені алгоритмічні формування спряжених моделей, що виключають інтерференцію в ході проектування та вироблення кінематичних пар для інформаційно-керуючої системи з числовим програмним управлінням. Вільні від інтерференції алгоритмічні формування спряжених поверхонь кінематичних пар дозволяють уникнути підрізань, заклинювань і небезпечної концентрації напружень, при цьому також підвищується точність та надійність експлуатації ОБТ.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Подкорытов А. Н. Исключение интерференции сопряженных поверхностей зубчатых передач // INTERNATIONAL CONGRES–GEAR TRANSMISSIONAL. Sofia–BULGARIA, 1995. С. 143–145.
2. Podkorytov A. Theoretical bases of conjugate quazihelical surfaces, excluding interference // 10th Intern. Conf. on Engineering Design Graphios and Descriptive Geometry. Texas, USA, Austin, 2002. Vol. 1. P. 43–47.
3. Подкорытов А. Н., Жадан А. Ф. Зубчатая передача с перекрещивающимися осями : Авторское свидетельство АС 1272041. Оpubл. в Б.И. 1986. № 10. 3 с.
4. Подкорытов А. М., Ісмаїлова Н. П. Загальний ітераційний метод виключення інтерференції спряжених квазігвинтових поверхонь // Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь : Мелітопольський держ. пед. ун-т, 2016. Вип. 5. С. 98–103. URL: <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/1488>
5. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Iss. 4(91). P. 76–82. URL: <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/5375>
6. Ismailova N., Bogach V., Lebedev B. Development of a technique for the geometrical modeling of conjugated surfaces when determining the geometrical parameters of an engagement surface contact in kinematic pairs // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Харків : Технологічний центр, 2020. № 1/4 (106). P. 17–22. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/154191>

Стаття надійшла до редакції 26.08.2021.

REFERENCES

1. Podkorytov, A. N. (1995). Iskliuchenie interferentsii sopriazhennykh poverkhnostei zubchatykh peredach [Elimination of interference of mating surfaces of gears]. In *INTERNATIONAL CONGRES–GEAR TRANSMISSIONAL*. (pp. 143–145). Sofia, Bulgaria [in Russian].
2. Podkorytov, A. (2002). Theoretical bases of conjugate quazihelical surfaces, excluding interference. In *10th Intern. Conf. on Engineering Design Graphios and Descriptive Geometry, 1*, 43–47. Texas, USA, Austin.
3. Podkorytov, A. N., & Zhadan, A. F. (1986). *Zubchataia peredacha s perekreshchivaiushchimi osiami : Avtorskoe svidetel'stvo [Cross-axle gear train: Certificate of authorship]. AS 1272041*. Published in B.I. № 10 [in Russian].

4. Podkorytov, A. M., & Ismailova, N. P. (2016). Zahalniy iteratsiinii metod vykliuchennia interferentsii spriazhenykh kvazihvyntovykh poverkhon [General iterative method for eliminating the interference of conjugate quasi-screw surfaces]. *Suchasni problemy modeliuвання [Modern problems of modeling]*, 5, 98–103. Melitopol. Retrieved from <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/1488> [in Ukrainian].
5. Havrylenko, Y., Kholodniak, Y., Vershkov, O., & Naidysh, A. (2018). Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, Iss. 4(91), 76–82. Retrieved from <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/5375>
6. Ismailova, N., Bogach, V., & Lebedev, B. (2020). Development of a technique for the geometrical modeling of conjugated surfaces when determining the geometrical parameters of an engagement surface contact in kinematic pairs. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/4 (106), 17–22. Kharkiv. Retrieved from <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/154191>

N. P. Ismailova, T. M. Mohylianets

ALGORITHMIC FORMATION OF CONNECTED MODELS FOR INFORMATION CONTROL SYSTEM IN DESIGNING KINEMATIC PAIRS

In modern systems for the automatic design of complex products for military equipment, algorithmic construction of conjugate models of curved surfaces using computer technologies that exclude interference are increasingly being used. This gives a powerful impetus to the development of applied geometry of surfaces and stimulates the search for new ways to improve the technological processes of manufacturing parts, on machines with an information control system. In particular, this applies to technological operations on numerically controlled machines. One of the main directions in modeling kinematic pairs should be considered the study and design of the shapes of surfaces in close connection with the operating conditions of structures in military equipment and weapons in which they are to be used. The shapes of complex curved surfaces affect the reliability and durability of mechanisms in military equipment and weapons and therefore require more careful consideration of external conditions when designing. Much attention is paid to the design of surfaces, taking into account an increasing number of predetermined requirements, conditions for the formation of curved surfaces of kinematic pairs in military equipment. The use of algorithmic constructions of conjugated kinematic pairs for an information control system in the manufacture of real surfaces of military equipment obtained as a result of stamping, the creation of a geometric model of stamping, reflecting a real physical process, is an urgent problem.

In recent years, in the manufacture of precision high-quality products of kinematic pairs and cutting tools in military equipment and weapons, complex curved surfaces have been widely used, which require the development of a geometric and mathematical apparatus for their modeling.

Algorithmic modeling of curvilinear transformations for the formation of mating surfaces of kinematic pairs in military equipment, based on a parametric kinematic screw, is proposed, which will eliminate interference during their manufacture.

Keywords: *kinematic method; geometric shape; mating surfaces; interference; gearing; geometric parameters; algorithmic constructions; information management system; conjugate models; kinematic surfaces.*

В. С. Савчук

ЗАСТОСУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЕРКОЛЯЦІЇ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ПОШИРЕННЮ ДЕСТРУКТИВНОГО ПСИХОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Сучасне планування психологічних операцій не можливе без використання таких інформаційних технологій, як засоби моделювання, що забезпечують точність спланованих операцій та передбачення їх результатів. У статті запропоновано концепцію протидії поширенню деструктивних інформаційних впливів через персональні акаунти спільнот соціальних мереж, яка, на відміну від відомих, базується на попередньому імітаційному моделюванні конкретної спільноти з метою визначення ключових та найбільш уразливих акторів у ній, що вимагають знешкодження (блокування), а їх видалення призведе до різкого розпаду (перколяції) співтовариства. У роботі наведено результати імітаційних експериментів щодо цілеспрямованого блокування акаунтів соціальних спільнот соціальної мережі «ВКонтакте», що є джерелом поширення деструктивного впливу. Встановлено, що ефект перколяції має місце як для графа всієї мережі, так і для окремих об'єднань (груп) усередині аналізованої спільноти, знайдених із використанням різних відомих методів кластеризації. Як показують результати моделювання, визначення порога перколяції дозволяє встановити частку найбільш вразливих вершин (акторів), що вимагають блокування для протидії поширенню деструктивних впливів у соціальних мережах. Показано, що оцінка порога перколяції коливається в межах 30–50% цілеспрямовано віддалених вершин. При цьому передбачається, що противник володіє аналогічною стратегією і може використовувати її для поширення деструктивного впливу. З іншого боку, якщо виходити з позиції нападника в рамках завдання інформаційного протиборства, то імітаційне моделювання за поточними даними дає можливість розробити оптимальну стратегію протидії певній спільноті, що становить небезпеку. Запропонований підхід сприяє розробці інформаційної технології як для захисту персональних акаунтів соціальних мереж від деструктивних впливів, так і для ефективної протидії в завданнях інформаційного впливу, управління та протиборства.

Ключові слова: соціальні мережі; безмасштабні графи; деструктивний психологічний вплив; перколяція графа.

Постановка проблеми в загальному вигляді. У століття розвинених технологій і засобів комунікації традиційні форми інформаційного обміну для основної маси населення відходять на другий план. Навіть телебачення для молодого покоління перестає бути головним джерелом отримання інформації через низьку якість телепродукції та відсутність інтерактивності. З розвитком Інтернету і мобільних пристроїв користувачеві надаються найширші можливості як для вибору джерел і форм отримання інформації на задану тему, так і для обміну інформацією, зокрема фото, аудіо та відео. Практика

© В. С. Савчук, 2021

показує, що основним засобом комунікації серед населення країн світу, що має доступ до Інтернету, є соціальні мережі. У зв'язку із цим соціальні мережі розглядаються як один з ефективних засобів поширення деструктивного інформаційно-психологічного впливу як у політиці всередині держав, так і в процесі ведення інформаційних війн між ними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даний час відома низка міждисциплінарних наукових досліджень, присвячених питанням інформаційного впливу, управління і протиборства в соціальних мережах [1]. Проте розгляд соціальної мережі як комплексної системи, описаної у вигляді графа, дає можливість використовувати істотні наукові напрацювання з іншої міждисциплінарної галузі, присвяченої вивченню таких систем (Complex Systems), у контексті захисту від поширення деструктивних впливів через персональні акаунти. Вагомий внесок у розвиток методів моделювання процесів протидії інформаційним впливам та інформаційній боротьбі в цілому зробили публікації [1–4]. У них обґрунтовано важливість, способи та підходи моделювання інформаційного протиборства. Робота [5] присвячена протидії деструктивним впливам на основі семантичного аналізу текстового контенту для виявлення інформаційних впливів. Питання аналізу поширення інформації в соціальних мережах розглянуто в [6–11], де описано підходи до моделювання безмасштабних мереж та процесів вірусного поширення інформації в них. Але сьогодні найбільш ефективним засобом ведення інформаційного протиборства є соціальні мережі із залученням персональних акаунтів, тому висвітлення потребують підходи до моделювання саме протидії поширенню деструктивних впливів у соціальних мережах, що в подальшому можуть слугувати основою для створення програмного забезпечення.

Формулювання завдання дослідження. У статті запропоновано концепцію оптимальної протидії поширенню деструктивних впливів у соціальних інтернет-співтовариствах або пов'язаних із ними спільнотах, в основі якої лежить попереднє моделювання цілеспрямованого блокування акаунтів, що є вагомими для вірусного поширення деструктивного впливу на основі реального графа спільноти станом на поточний момент, для визначення порога перколяції та ключових акаунтів, блокування яких є достатнім для протидії. Отримані результати дають інформацію для розробки стратегії оптимальної протидії.

Мета дослідження – підвищення ефективності протидії поширенню деструктивних впливів у соціальних мережах через акаунти соціальних спільнот за рахунок синтезу оптимальної стратегії їх блокування на основі моделі перколяції графа спільноти як середовища поширення інформації.

Виклад основного матеріалу. Відомо [2–4], що так звані «безмасштабні мережі» (Scale Free Networks), які включають World Wide Web, Інтернет, а також соціальні мережі, відображають високий ступінь надійності до випадково спрямованих атак, що в даному контексті може розглядатися як високий ступінь стійкості до блокування джерел поширення деструктивного впливу. Однак ці ж мережі є надзвичайно уразливими до цілеспрямованого блокування, тобто до вибору й видалення акторів із високим ступенем (рейтингом), які відіграють життєво важливу роль у підтримці зв'язків у мережі. Вразливість характеризується явищем розпаду мережі на частини. У вказаних вище

роботах для асортативних мереж (із позитивним кореляційним зв'язком) це явище називається перколяцією. Це фазовий перехід зі стану, коли мережа характеризується зв'язковим графом, у стан, коли має місце утворення маси окремих фрагментів. У розрізі питань захисту від поширення деструктивних впливів серед акаунтів соціальної мережі виключення певних вузлів, що поширюють деструктивні впливи, має в кінцевому підсумку призвести до ефекту перколяції на інформаційному рівні. У такому контексті слід говорити про моделі поширення інфекцій, які за своєю природою схожі з моделями перколяції [7–11]. При цьому необхідно зазначити, що ефект перколяції має аномалії в разі зростаючих мереж [12]. У зв'язку з викладеним вище питання розробки інформаційних технологій, що дозволяють реалізувати такі моделі в завданнях інформаційного впливу, управління і протидії на рівні конкретного користувача, є досить актуальними.

У [13] запропоновано описати цільову аудиторію (ЦА) у вигляді неорієнтованого графа. Формально вона подана у вигляді графа $G(N, E)$, у якому $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множина вершин (акторів чи акаунтів соціальної мережі); $E = \{1, 2, \dots, k\}$ – множина ребер, що відображають зв'язки акторів між собою, під якими розуміємо соціальні зв'язки («дружать», «репостять», мають родинні зв'язки або спільні інтереси тощо). Для дослідження використовувалися дані персональних акаунтів користувачів соціальної мережі «ВКонтакте» із м. Волновахи, старші 18 років. Тестовий набір даних містив 8421 актора та 13706 зв'язків між ними. Механізм збору був реалізований за допомогою розробки програмного забезпечення, що взаємодіяло із сервером «ВКонтакте» через надані методи API. Було використано також відкритий онлайн-сервіс <https://vk.barkov.net>. Для модельного прикладу не враховувалися всі наявні зв'язки акторів. Через відсутність навчальної вибірки використовувалися реальні дані.

Зібрані дані були опрацьовані, на їх основі побудовано базу даних у форматі .csv, що підтримується програмою Gephi, використаною для моделювання. На рис. 1 зображений відповідний ненаправлений граф, кожна вершина якого асоційована з певним персональним акаунтом, а його ребрами описані зв'язки.

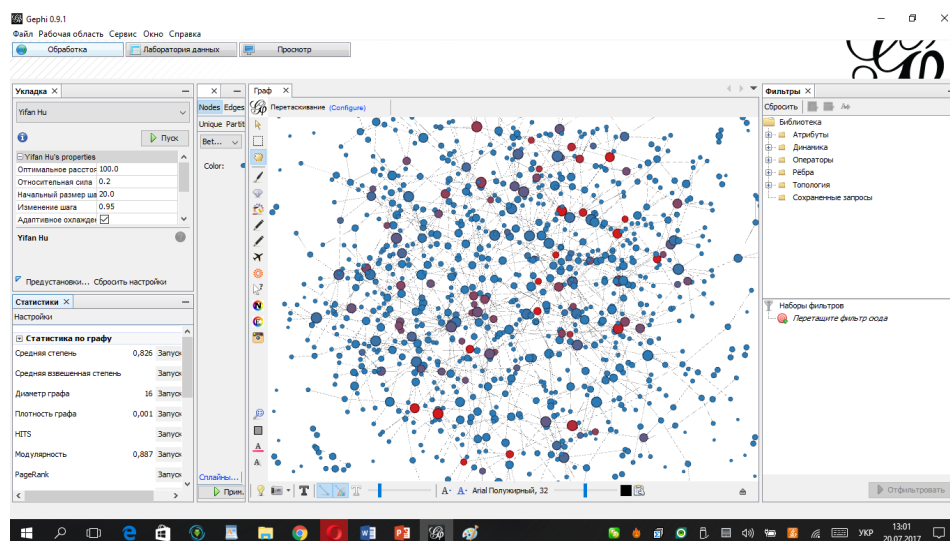


Рис. 1. 3D-візуалізація графа зв'язків персональних акаунтів м. Волновахи

У табл. 1 наведено основні числові характеристики графа. Як видно, мережа має позитивну асортативність ($r \approx 0,044 > 0$) із високим коефіцієнтом її кластеризації ($\langle C \rangle \approx 0,238$), що підтверджує результати, отримані раніше іншими авторами, щодо безмасштабних графів.

Таблиця 1

Числові характеристики графа

Кількість вершин N	Коефіцієнт асортативності r	Коефіцієнт кластеризації $\langle C \rangle$
5171	+0,0441148073621	+0,238117436772

Грунтуючись на експерименті, описаному в роботі [2], був змодельований процес перколяції побудованого графа з відстеженням найбільшого кластера з розміром S (рис. 2а) і середнього кластера з розміром $\langle s \rangle$ (рис. 2б) залежно від частки віддалених вершин. Результати підтверджують властивості перколяції безмасштабного графа, аналогічні тим, що були отримані авторами [2]. Як видно з графіків (рис. 2), для цілеспрямованого блокування акаунтів соціальної мережі чи акторів має місце чітко виражений поріг перколяції (ефект руйнування мережі) при частці віддалених вершин, що дорівнює 0,5. Це означає, що процес поширення інформації стає неможливим за рахунок відсутності зв'язності спільноти.

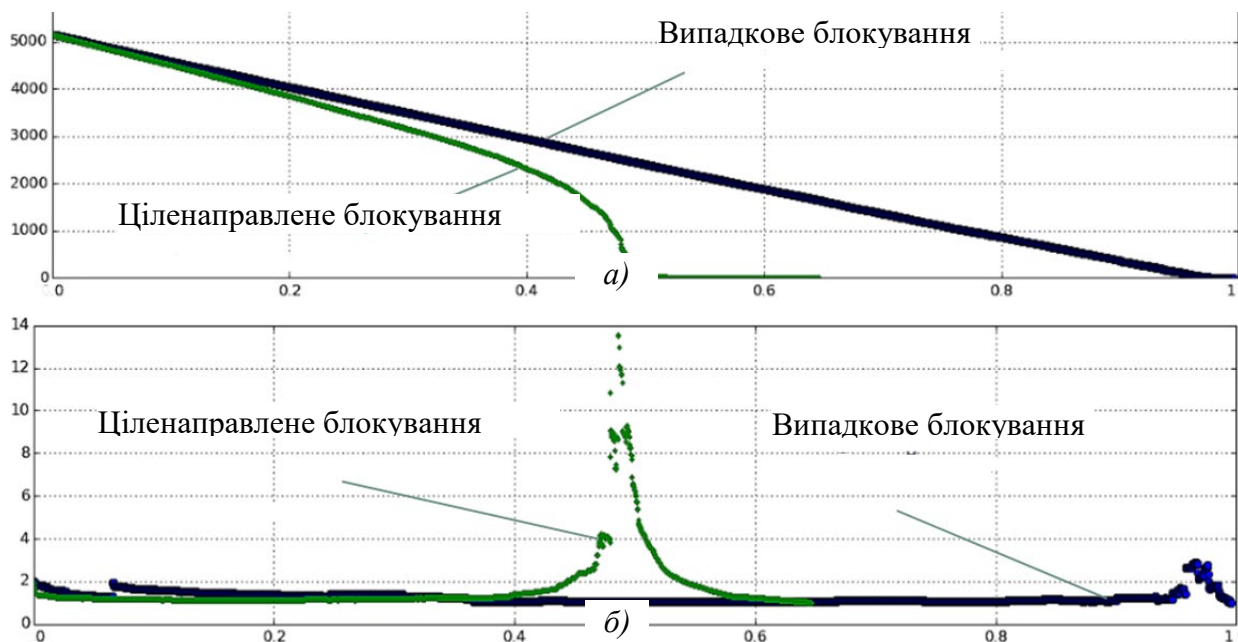


Рис. 2. Фрагментація графа: вісь y – розмір S найбільшого (а) та $\langle s \rangle$ середнього (б) кластерів; вісь x – частка блокованих вершин

На наступному етапі було здійснено пошук і 3D-візуалізацію (рис. 3) спільнот із використанням алгоритму Louvain [12].

Після виділення однієї зі спільнот усередині спільноти акаунтів м. Волновахи (рис. 3) були знайдені її числові характеристики (табл. 2) і застосована модель процесу перколяції з візуалізацією результатів (рис. 4а, б).

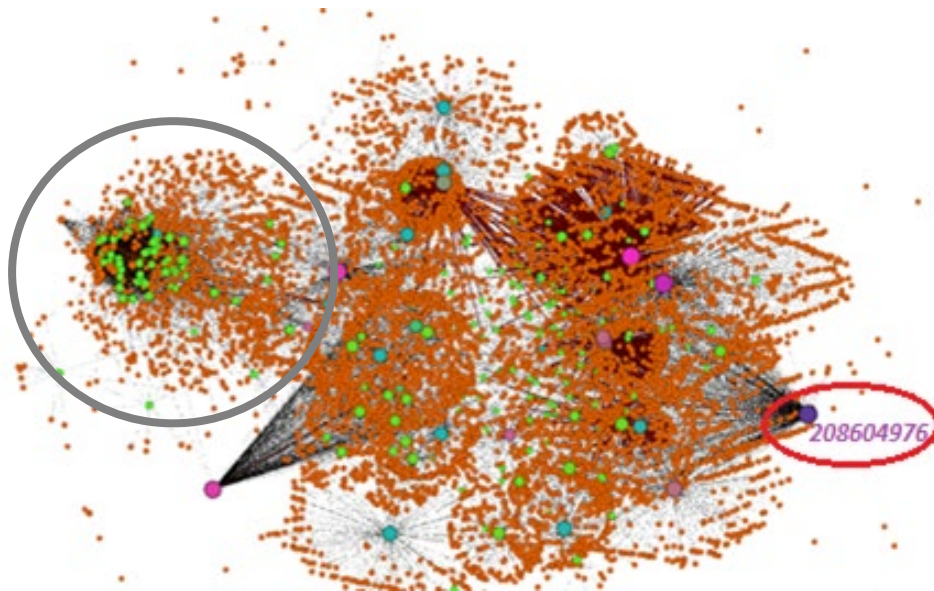


Рис. 3. 3D-візуалізація графа спільнот із виділенням найбільшої з них за кількістю вершин

Таблиця 2

Числові характеристики графа виділеної спільноти (рис. 3)

Кількість нод N	Діаметр d	Коефіцієнт асортативності r	Коефіцієнт кластеризації $\langle C \rangle$
940	7	+0,0609364988023	+0,281535528823

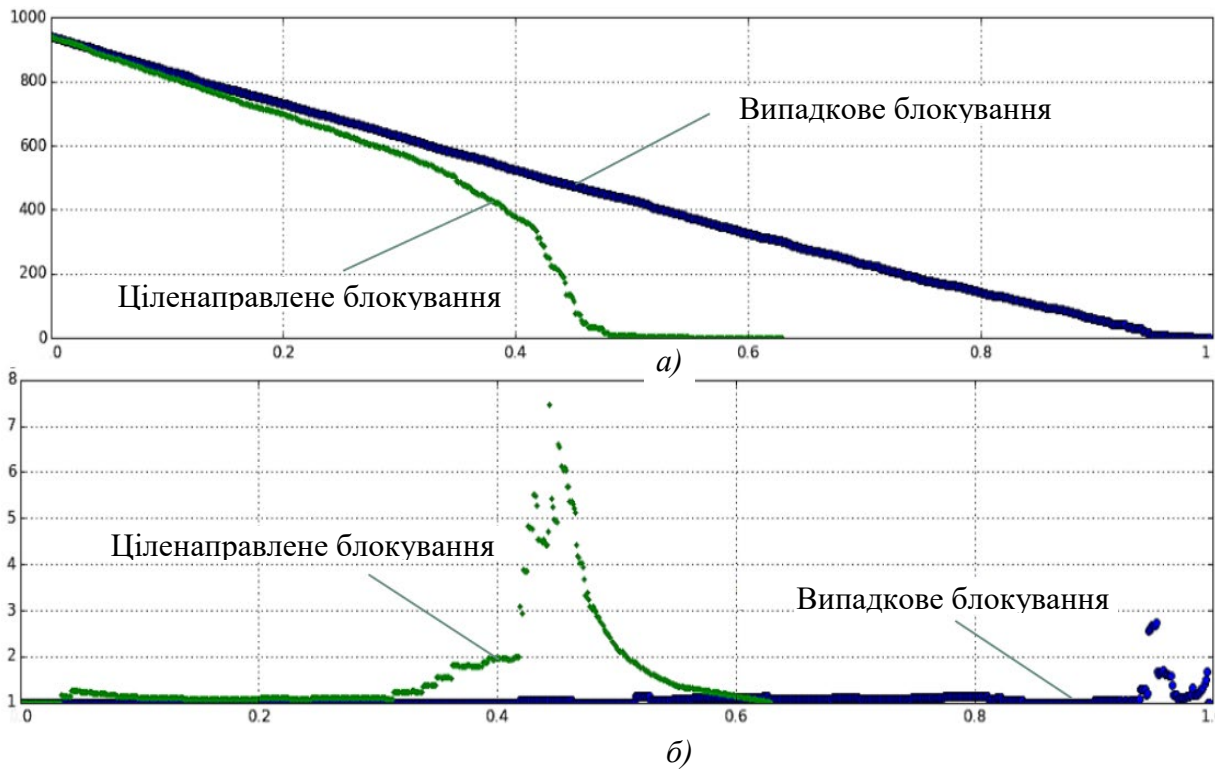


Рис. 4. Фрагментація графа: вісь y – розмір S найбільшого (а) і $\langle s \rangle$ середнього (б) кластерів; вісь x – частка блокованих вершин

Як видно, у разі блокування близько 45% вершин, граф спільноти починає різко руйнуватися. Це означає, що структура цієї спільноти досить стійка, оскільки для її руйнування необхідне блокування майже половини діючих акаунтів. Для оцінювання порога перколяції різних методів сегментації та для різних спільнот була проведена серія послідовних експериментів, суть яких полягала в такому: для графа, наведеного на рис. 1, послідовно були застосовані три відомі алгоритми кластеризації: кращого розбиття (*best_partitions*), багаторівневих спільнот (*community_multilevel*) і на основі власних векторів (*community_leading_eigenvector*). Для кожної виділеної спільноти послідовно проводився імітаційний експеримент із направленою блокуванням вершин акаунтів соціальних мереж) з подальшим визначенням оцінки порога перколяції. Як видно з результатів (табл. 3), поріг перколяції знаходився в межах 30–50%.

Таблиця 3

Оцінки порога перколяції для різних спільнот, отриманих різними методами кластеризації

№ спільноти	Best_partitions		Community_multilevel		Community_leading_eigenvector	
	Кількість акторів	Поріг перколяції	Кількість акторів	Поріг перколяції	Кількість акторів	Поріг перколяції
1	946	0,41	967	0,43	1312	0,35
2	940	0,45	939	0,42	1209	0,42
3	520	0,40	521	0,41	1010	0,35
4	485	0,39	463	0,39	896	0,38
5	357	0,39	357	0,38	604	0,38
6	328	0,37	324	0,35	7	0,29
7	294	0,29	300	0,35		
8	274	0,26	245	0,39		
9	222	0,38	222	0,30		
10	201	0,39	219	0,37		
11	189	0,36	192	0,35		
12	168	0,34	171	0,31		

Висновки. Як показують результати моделювання, визначення порога перколяції дозволяє встановити частку найбільш вразливих вершин (акторів), що вимагають блокування для протидії поширенню деструктивних впливів у соціальних мережах. З'ясовано, що ефект перколяції має місце як для графа всієї мережі, так і для окремих спільнот, знайдених із використанням різних відомих методів кластеризації. Показано, що оцінка порога перколяції коливається в межах 30–50% цілеспрямовано віддалених вершин. При цьому передбачається, що противник володіє аналогічною стратегією і може використовувати її для поширення деструктивного впливу. З іншого боку, якщо виходити з позиції нападника в рамках завдання інформаційного протиборства, то імітаційне моделювання за поточними даними дає можливість розробити оптимальну стратегію протидії певній спільноті, що становить небезпеку. Запропонований підхід сприяє розробці інформаційної технології як для захисту персональних акаунтів соціальних мереж від деструктивних впливів, так і для ефективної протидії в завданнях інформаційного впливу, управління та протиборства.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. Москва : Физматлит, 2010. 228 с.
2. Гришук Р. В. Основи кібернетичної безпеки : монографія / За заг. ред. Ю. Г. Даника. Житомир : ЖНАЕУ, 2016. 636 с.
3. Callaway D. S., Newman E. J., Strogatz S. H., Duncan J. Watts Network Robustness and Fragility: Percolation on Random Graphs // Physical Review Letters. 2000. Vol. 85, № 25. P. 5468–5471.
4. Newman E., Girvan M. Finding and Evaluating Community Structure in Networks // Physical Review E. 2004. Vol. 69, Iss. 2. P. 1–15.
5. Молодецька – Гринчук К. В. Семантичний аналіз текстового контенту для виявлення інформаційних впливів на акторів у соціальних інтернет-сервісах // Проблеми і перспективи розвитку ІТ індустрії : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, листопад, 2017). Харків, 2017. С. 58.
6. Dorogovtsev S. N., Mendes J. F. Evolution of Networks. From Biological Nets to the Internet and WWW. Oxford : Oxford University Press, 2003. 264 p.
7. Pastor-Satorras R., Vespignani A. Epidemic Spreading in Scale-Free Networks // Physical Review Letters. 2001. Vol. 86, № 14. P. 3200–3203.
8. Pastor-Satorras R., Vespignani A. Epidemic Dynamics and Endemic States in Complex Networks // Physical Review E. 2001. Vol. 63, Iss. 6. P. 1–8.
9. Pastor-Satorras R., Vespignani A. Immunization of Complex Networks // Physical Review E. 2002. Vol. 65, Iss. 3. P. 1–9.
10. Moreno Y., Pastor-Satorras R., Vespignani A. Epidemic Outbreaks in Complex Heterogeneous Networks // The European Physical Journal B. 2002. Vol. 26. P. 521–529.
11. Dezső Z., Barabási A. Halting Viruses in Scale-Free Networks // Physical Review E. 2002. Vol. 65, Iss. 5. P. 1–4.
12. Are Randomly Grown Graphs Really Random? / D. S. Callaway, J. E. Hopcroft, J. M. Kleinberg, M. E. J. Newman, S. H. Strogatz // Physical Review E. 2001. Vol. 64, Iss. 4. P. 1–7.
13. De Meo P., Ferrara E., Fiumara G., Provetti A. Generalized Louvain Method for Community Detection in Large Networks // Proceedings of the 11th International Conference On Intelligent Systems Design And Applications (November 22–24, 2011). IEEE, 2001. P. 88–93.
14. Savchuk V. S. Graphic Model of The Target Audience of Psychological Influence in Social Networks // Information & Security: Hybrid Warfare Challenges and Responses: Lessons from Ukraine. Sofia, 2018. Vol. 41. P. 28–36.

Стаття надійшла до редакції 07.05.2021.

REFERENCES

1. Gubanov, D. A., Novikov, D. A., & Chkhartishvili, A. G. (2010). *Sotsial'nye seti: modeli informatsionnogo vliianiia, upravleniia i protivoborstva* [Social networks: models of information influence, control and confrontation.]. Moscow [in Russian].

2. Hryshchuk, R. V. (2016). *Osnovy kibernetychnoi bezpeky [Fundamentals of cyber security]*. Yu. H. Danyk (Ed.). Zhytomyr [in Ukrainian].
3. Callaway, D. S., Newman, E. J., Strogatz, S. H., & Duncan, J. (2000). Watts Network Robustness and Fragility: Percolation on Random Graphs. *Physical Review Letters*, Vol. 85, № 25, 5468–5471.
4. Newman, E., & Girvan, M. (2004). Finding and Evaluating Community Structure in Networks. *Physical Review E*, Vol. 69, Iss. 2, 1–15.
5. Molodetska – Hrynychuk, K. V. (2017). Semantychnyi analiz tekstovoho kontentu dlia vyavleniia informatsiinykh vplyviv na aktoriv u sotsialnykh internet-servisakh [Semantic analysis of textual content for identifying informational influences on actors in social Internet services]. In *Problemy i perspektyvy rozvytku IT industrii : materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Problems and prospects of IT industry development: materials intern. scientific-practical conf.]*. Kharkiv, November, 2017. (p. 58). Kharkiv [in Ukrainian].
6. Dorogovtsev, S. N., & Mendes, J. F. (2003). *Evolution of Networks. From Biological Nets to the Internet and WWW*. Oxford: Oxford University Press.
7. Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2001). Epidemic Spreading in Scale-Free Networks. *Physical Review Letters*, Vol. 86, № 14, 3200–3203.
8. Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2001). Epidemic Dynamics and Endemic States in Complex Networks. *Physical Review E*, Vol. 63, Iss. 6, 1–8.
9. Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2002). Immunization of Complex Networks. *Physical Review E*, Vol. 65, Iss. 3, 1–9.
10. Moreno, Y., Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2002). Epidemic Outbreaks in Complex Heterogeneous Networks. *The European Physical Journal B*, Vol. 26, 521–529.
11. Dezső, Z., & Barabási, A. (2002). Halting Viruses in Scale-Free Networks. *Physical Review E*, Vol. 65, Iss. 5, 1–4.
12. Callaway, D. S., Hopcroft, J. E., Kleinberg, J. M., Newman, M. E. J., & Strogatz, S. H. (2001). Are Randomly Grown Graphs Really Random? *Physical Review E*, Vol. 64, Iss. 4, 1–7.
13. De Meo, P., Ferrara, E., Fiumara, G., & Proveti, A. (2001). Generalized Louvain Method for Community Detection in Large Networks. In *Proceedings of the 11th International Conference On Intelligent Systems Design And Applications. IEEE*. November 22–24, 2011. (pp. 88–93).
14. Savchuk, V. S. (2018). Graphic Model of The Target Audience of Psychological Influence in Social Networks. In *Information & Security: Hybrid Warfare Challenges and Responses: Lessons from Ukraine*, Vol. 41, 28–36. Sofia.

V. S. Savchuk

APPLICATION OF PERCOLATION PROPERTIES TO COUNTER THE SPREAD OF DESTRUCTIVE PSYCHOLOGICAL INFLUENCE IN SOCIAL NETWORKS

Modern planning of psychological operations is not possible without the use of information technology, such as modeling tools that ensure the accuracy of planned operations and predict their results. The article proposes the concept of counteracting the spread of destructive information influences through personal accounts of social networking communities, which, unlike the known ones, is based on preliminary simulation of a particular community to identify

key and most vulnerable actors in it that require neutralization (blocking). removal will lead to a sharp disintegration (percolation) of the community. The paper presents the results of simulation experiments on the purposeful blocking of accounts of social communities of the social network "VKontakte", which is a source of destructive influence. It is established that the percolation effect occurs both for the graph of the whole network and for individual communities in the middle of the analyzed community, found using various known clustering methods. As the simulation results show, determining the percolation threshold allows to establish the share of the most vulnerable vertices (actors) that require blocking to counteract the spread of destructive influences on social networks. It is shown that the estimate of the percolation threshold varies within 30–50% of purposefully distant vertices. It is assumed that the enemy has a similar strategy and can use it to spread destructive influence. On the other hand, if we proceed from the position of the attacker in the task of information confrontation, then simulation based on current data makes it possible to develop an optimal strategy to counter a particular community that poses a danger. The proposed approach contributes to the development of information technology as protection of personal accounts of social networks from destructive influences, and effective counteraction in the tasks of information influence, management and confrontation.

Keywords: *social networks; scaleless graphs; destructive psychological influence; percolation of the graph.*

І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук

НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для задоволення потреби Збройних Сил України у фахівцях з експлуатації безпілотних авіаційних комплексів у Житомирському військовому інституті імені С. П. Корольова розгорнуто підготовку операторів – зовнішніх пілотів. У ході створення матеріально-технічної бази було порушено питання розробки та впровадження в навчальний процес тренажерних засобів, які б відповідали вимогам підготовки фахівців із вищою військовою освітою. Тому було створено навчально-тренувальну систему на основі переліку базових навчальних питань, глибоке оволодіння якими є обов'язковим для оператора безпілотних авіаційних комплексів. Розроблено, виготовлено та впроваджено в навчальний процес навчально-тренувальну систему, яка для забезпечення умов ефективного засвоєння навчального матеріалу побудована як схематично-абстрагована. Її змістовну основу становить плоский схематичний контур літака, на якому розміщене типове бортове обладнання безпілотних літальних апаратів та відтворена схема сполучень елементів. Живлення бортового обладнання забезпечується від аудиторної електромережі через стабілізований блок живлення. Керування роботою бортового обладнання можливе з ручного пульта управління та з наземної станції через програму *Mission Planner*. Також реалізовано управління роботою *Mission Planner* від програмного симулятора польотів *X-Plane*. У режимі симуляції польоту на екрані *Mission Planner* відображається карта маршруту польоту, на екрані *X-Plane* відтворюється вигляд та просторова орієнтація літака. На схематичному контурі літака відпрацьовують відповідні сервоприводи рульових поверхонь літального апарата та змінюються режими роботи головного двигуна. Програмне забезпечення навчально-тренувальної системи дозволяє проводити планування та коригування маршруту і програми польоту, відпрацьовувати навички пілотування безпілотного літального апарата в режимі симулятора польоту, симулювати політ за різних погодних умов. До складу навчально-тренувальної системи включено двоканальний програмно-апаратний осцилограф, який дозволяє досліджувати електричні процеси в різних електричних лініях бортового обладнання літального апарата та попарні взаємозв'язки між ними. Функціональні властивості навчально-тренувальної системи надають можливості вивчати теоретично та відпрацьовувати практично широке коло навчальних питань, зокрема тих, що стосуються освоєння не лише пілотування безпілотних літальних апаратів, а й технічного обслуговування та ремонтів безпілотних авіаційних комплексів.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс; безпілотний літальний апарат; навчально-тренувальна система; авіаційний тренажер; спеціалізоване програмне забезпечення.

Постановка проблеми в загальному вигляді: Стрімке збільшення обсягів і сфер застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) у Збройних Силах (ЗС) України
© І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук, 2021

зумовлює необхідність здійснення якісної підготовки операторів БпАК у достатній кількості. Це, у свою чергу, вимагає створення відповідних навчальних центрів і їх комплектування викладацьким складом, інструкторами та матеріально-технічною базою. Отриманий бойовий досвід [1–9] свідчить, що застосування БпАК дозволяє знизити втрати особового складу, підвищити ефективність застосування озброєння і військової техніки та дій підрозділів ЗС України. У ході аналізу отриманого досвіду встановлено, що однією з головних причин недостатньої ефективності використання БпАК у ЗС України є низька професійна надійність членів екіпажів [1–9], під якою розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність дій, направлених на виконання бойового завдання в процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою [10]. Тобто ефективне застосування БпАК, як складної людино-машинної системи, можливе за умови працездатності його технічних засобів та стабільних передбачуваних дій операторів [10–12], які обумовлюються рівнем підготовки та злагодженості екіпажу, що досягається в ході достатньо тривалих навчань та тренувань. На сьогоднішній день процес підготовки операторів БпАК супроводжується значною кількістю поломок і пошкоджень безпілотних літальних апаратів (БпЛА). В умовах відсутності навчальних БпАК використання для навчання бойових комплексів завдає значних збитків та призводить до зриву проведення занять. Тому актуальним питанням є застосування навчально-тренувальних систем (НТС) під час підготовки операторів БпАК, що дасть змогу відпрацювати основні навички пілотування та дії в разі нештатних ситуацій. На базі Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова (ЖВІ) розгорнуто підготовку операторів БпАК для потреб ЗС України. Накопичений досвід свідчить про необхідність проведення попередньої тренажерної підготовки тих, хто навчається, перед допуском до польотів БпЛА. На даний час для підготовки операторів БпЛА застосовують комп'ютерні симулятори польотів, які надають змогу набути навичок пілотування, але не дають курсантам інформації, необхідної для розуміння алгоритмів роботи бортових систем БпЛА та фізичних процесів, що відбуваються у бортовому обладнанні. Тому актуальним є питання розроблення інформаційної тренажерної системи (ІТС), яка дозволить відпрацьовувати професійно важливі навички операторів БпЛА з одночасною теоретичною підготовкою (засвоєння алгоритмів та фізичних принципів роботи бортового обладнання БпЛА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З виникненням БпАК з'явилася потреба у використанні відповідних тренажерів. На сьогоднішній день закордонні виробники разом із виробництвом БпАК також прагнуть розробляти авіаційні тренажери для своїх комплексів. На жаль, вітчизняні промисловці не займаються розробленням симуляторів і тренажерів для БпАК, які вони постачають у ЗС України. Однією з причин такої ситуації є відсутність технічних завдань із чітким баченням загальної концепції тренажерного обладнання. За таких умов набуває актуальності питання вивчення світового досвіду розроблення тренажерів БпАК та симуляторів польоту БпЛА, яке було проведено на основі аналізу публікацій [13–27].

Так, ізраїльська фірма Aeronautics розробила авіаційний тренажер для відпрацювання усіх етапів застосування БпАК: планування місії та прокладання маршруту, робота з усіма видами корисного навантаження в різних режимах, відпрацювання алгоритму дій у разі виникнення нештатних ситуацій під час здійснення контролю з боку інструктора

з можливістю моделювання різних умов обстановки (час доби, погодні умови, наявність чи відсутність рухомих об'єктів тощо). Персональний комп'ютер оператора та панель керування призначені для формування команд для БпЛА, відображення даних телеметрії, відеозображення в масштабі реального часу. На панелі розміщені перемикачі, кнопки та джойстики для управління корисним навантаженням, регулювання основних параметрів двигуна та бортового передавача тощо [13].

Значний досвід щодо розроблення тренажерів БпЛА мають Сполучені Штати Америки. До складу всіх БпЛА, що розробляються в інтересах ЗС цієї країни, входять тренажери, що симулюють польоти БпЛА. На сьогоднішній день у ЗС України використовується БпЛА RQ-11B «Raven» виробництва американської компанії «Aerovironment». Це дає змогу глибоко проаналізувати авіаційний тренажер, що входить до його складу. Елементами авіаційного тренажера БпЛА RQ-11B «Raven» є: ноутбук; симулятор інтерфейсу Dongle; батарея GCS; ручний контролер GCS; хаб GCS; радіочастотний кабель GCS. Авіаційний тренажер дозволяє:

- планувати та корегувати маршрут польоту;
- налаштовувати алгоритм дій БпЛА в разі втрати радіозв'язку з наземною станцією;
- відображати місії в графічному вигляді на електронних картах;
- змінювати умови польоту (час доби, напрям та силу вітру тощо), програмувати відмови під час польоту;
- оглядати місію для аналізу даних.

Авіаційний тренажер БпЛА RQ-11B «Raven» є засобом навчання, що використовується для відпрацювання навичок у віртуальному середовищі. Програмне забезпечення імітує всі функції та режими польоту, створюючи реалістичне навчальне середовище зі змодельованими знімками, що транслюються на монітор ручного пульта керування. Інформація в інтерфейсі програми відображається у двох основних зонах, дані про політ – уздовж лівого боку та залишаються видимими протягом симуляції. Решта частини екрана змінюється залежно від того, який режим обрано (Preflight, Status, Location or Environment) [14].

Розглянуті тренажери є вузькоспеціалізованими, оскільки дозволяють симулювати політ БпЛА та відпрацьовувати навички роботи тільки з тими БпЛА, у складі яких вони надходять. Більш універсальним є програмний симулятор X-Plane, який дозволяє використати плагіни з програмними моделями різних літаків та який у поєднанні зі спеціалізованим програмним забезпеченням й апаратною частиною БпЛА може використовуватися як тренажер.

Отже, активне застосування БпЛА, їх удосконалення та ускладнення конструкцій вимагає створення й розвитку авіаційних тренажерів, використання яких забезпечує ефективну підготовку компетентних фахівців з експлуатації БпЛА.

Формулювання завдання дослідження. Основним завданням створення і застосування НТС БпЛА є набуття оператором практичних навичок пілотування БпЛА та усвідомлення принципів й алгоритмів роботи бортових систем БпЛА. У ході навчання на НТС сам БпЛА не пошкоджується, виключається також можливість його втрати. До складу НТС має входити як апаратна, так і програмна частина БпЛА, що буде симулювати

навколишнє середовище та погодні умови. НТС повинна надавати можливість аналізувати поведінку БпЛА в різних режимах роботи та проводити аналіз взаємодії структурних елементів БпАК. Наявні системи НТС у світі розповсюджуються виключно із системами БпАК. Розглянуті вище НТС адаптовані під конкретний БпАК, вони не дають можливості усвідомити та проаналізувати принципи й алгоритми роботи бортових систем БпЛА. Відповідно, метою статті є розроблення НТС, до складу якої мають увійти основні системи БпАК та авіаційний симулятор для відпрацювання навичок пілотування БпЛА.

Виклад основного матеріалу. З метою створення умов для ефективного подання курсантам достатнього обсягу наочної інформації, необхідної для розуміння принципів і алгоритмів роботи бортових систем БпЛА та фізичних процесів, що відбуваються в бортовому обладнанні, у науковому центрі ЖВІ розроблена та виготовлена НТС, яка дозволяє відпрацьовувати професійно-важливі навички операторів БпЛА з одночасною теоретичною підготовкою (засвоєння алгоритмів та фізичних принципів роботи бортового обладнання).

Підхід до обґрунтування принципу побудови НТС та розроблення її конструкції враховує перелік навчальних питань, які повинен засвоїти оператор БпАК у ході набуття кваліфікації:

- загальна аеродинамічна схема літального апарата літакового типу з класичною компоновкою та розташуванням рульових поверхонь;

- розташування рульових поверхонь та призначення кожної з них;

- принципи зміни напрямку руху літального апарата (кути крену, ристання, тангажа) за допомогою рульових поверхонь;

- способи зміни напрямку руху літального апарата із застосуванням різних комбінацій перекладки рульових поверхонь (поворот з елеронами, поворот без елеронів тощо);

- механізми приводу рульових поверхонь, їх призначення, загальний принцип роботи, розташування на літальному апараті;

- силова установка (головний двигун) літального апарата, його призначення, розташування, загальний принцип управління режимами роботи;

- схема електричного живлення силової установки та бортових систем БпЛА;

- робочі напруги в підсистемах бортової електричної мережі;

- автопілот, його призначення, функції, розміщення, живлення, комутація;

- принципи і схема управління БпЛА в ручному режимі;

- принципи і схема управління БпЛА в автоматичному режимі;

- оптико-електронне обладнання БпЛА;

- призначення, будова, порядок роботи відеоканалу;

- електричні процеси в бортовій електромережі, каналах зв'язку, бортових лініях управління.

Для забезпечення наочності подання навчального матеріалу, що є умовою ефективного засвоєння розглянутого переліку навчальних питань, НТС побудована як абстрагована схема літального апарата літакового типу класичної аеродинамічної схеми. Змістовну основу НТС становить плоске схематичне зображення контуру літака, всередині якого розміщене типове бортове обладнання та зображена схема сполучень елементів. Для дослідження електричних процесів до складу НТС включено осцилограф.

ліворуч. Основним елементом фронтальної частини є стилізована конструкція БпЛА, виготовлена з листа водостійкої фанери у вигляді плоского контуру, обриси якого відповідають зображенню літака класичної аеродинамічної схеми. До контурного літака у відповідних місцях шарнірно приєднані рулі висоти та елерони, а також кіль з рулем повороту. Усі рульові поверхні діючі, поворотні, із сервоприводами. Повітряний гвинт для забезпечення техніки безпеки поміщений у захисний кожух із металевої сітки. На лицьовому боці фанерного контуру розміщене бортове обладнання БпЛА та його сполучні кабелі. Вся бортова апаратура діюча. У межах конструкції БпЛА бортова апаратура розташована таким чином, щоб наочно відображати функціональні зв'язки між окремими елементами та демонструвати роль і місце кожного в загальній схемі функціонування БпЛА. Відстані між елементами обрані з урахуванням забезпечення умов їх чіткого візуального спостереження та розрізнення із віддалених навчальних місць. Для візуалізації шляхів проходження команд управління між різними елементами бортового обладнання БпЛА застосовується підсвічування цих шляхів світлодіодними стрічками різних кольорів, які прокладені вздовж відповідних сполучних кабелів. Світлодіодними стрічками також підсвічуються механічні тяги сервоприводів рулів. Виділяються лише ті шляхи, які задіяні у виконанні поточної команди. На лицьовому боці також розміщені світлодіоди індикації точок зняття осцилограм.

До складу НТС включені 2 цифрові вольтметри та 5 амперметрів із 7-сегментними індикаторами. Вольтметри відображають поточні значення напруг лінії живлення 12 V (бортова батарея, основний електродвигун, відеокамера, відеопередавач) та лінії живлення 5 V (автопілот, сервоприводи, радіоприймач ручного керування, радіопередавач телеметрії, GPS-навігатор, трубка Піто). Амперметри відображають поточні значення струмів: лінії живлення 12 V у цілому; головного електродвигуна; відеокамери та відеопередавача; лінії живлення 5 V у цілому; сервоприводу одного з елеронів. Замість бортової акумуляторної батареї встановлено її масогабаритний макет. Імітація її роботи здійснюється за допомогою стабілізованого блоку живлення від аудиторної мережі змінного струму 220 V. Щоб енергоспоживання допоміжних систем стенда не впливало на покази вольтметрів і амперметрів схеми бортових систем БпЛА, для живлення цих систем передбачена допоміжна мережа 12 V, робота якої забезпечується додатковим стабілізованим блоком живлення від аудиторної мережі змінного струму 220 V. На лицьовій поверхні стенда знизу зліва від контуру літака штатне місце для зберігання пульта ручного управління БпЛА, живлення якого від батареї замінено на живлення кабелем від допоміжної мережі 12 V. Зліва зверху над контуром літака розміщено макети супутників системи GPS. Праворуч від фанерного контуру літака розташовано два монітори з діагоналлю 43". Нижній монітор є складовою наземної станції управління БпЛА. Верхній призначений для багатофункціонального використання, зокрема для виведення потоку відео від бортової камери БпЛА, осцилограм від програмно-апаратного осцилографа, а також для демонстрації навчальних відеоматеріалів. Між антеною пульта ручного управління та антеною бортового приймача системи ручного управління, між макетами супутників і бортовим приймачем GPS-навігатора, між нижнім монітором і бортовою антеною передавача/приймача телеметрії та між верхнім монітором і бортовою антеною відеопередавача для візуальної імітації передачі даних відповідними

ефірними каналами розміщені ланцюжки біжучих вогнів із світлодіодів синього кольору й мигаючі двоколірні світлодіоди синього та червоного кольорів.

Для можливості поглибленого вивчення принципів роботи радіоелектронного та електромеханічного бортового обладнання БпЛА до складу НТС включено двоканальну програмно-апаратну приставку-осцилограф Hantek 6022BE, яка через USB-кабелі з'єднується з комп'ютером, а через плату комутації – з точками зняття осцилограм бортової електричної схеми БпЛА, які визначені конструкцією стенда, до них підведені приховані провідники, якими сигнали подаються до осцилографа (рис. 2). Передбачено зняття осцилограм щодо напруги з: фазних проводів живлення головного електродвигуна, управляючого проводу від автопілота до регулятора обертів головного електродвигуна, передачі даних від радіоприймача ручного управління до автопілота, від цифрового датчика повітряної швидкості до автопілота, від бортового модуля телеметрії до автопілота, надання команд управління від автопілота до сервоприводу елерона. Осцилограми виводяться на монітор стенда. Оскільки осцилограф двоканальний, то осцилограми виводяться попарно, тобто одночасно від двох різних точок. Це дає можливість досліджувати та аналізувати взаємозв'язки між синхронними сигналами в актуальних місцях електричної схеми БпЛА.

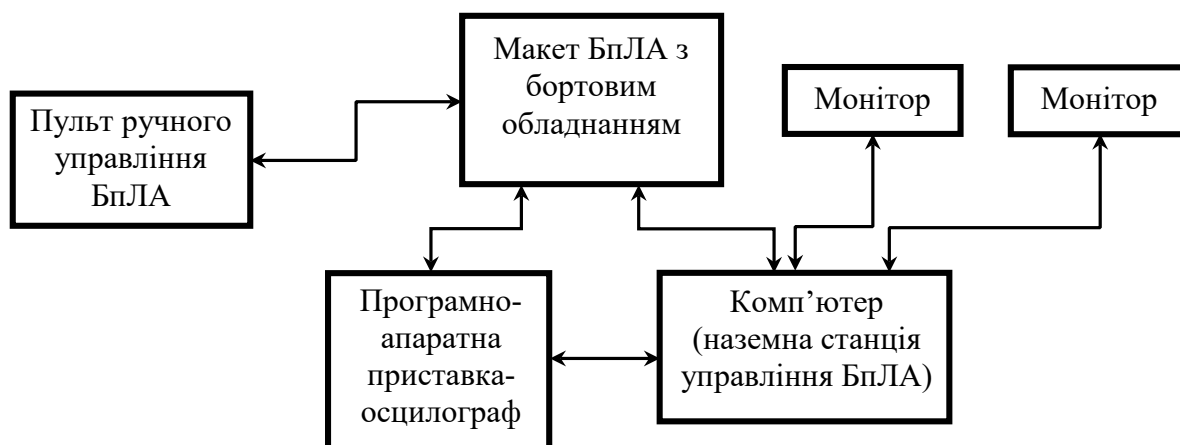


Рис. 2. Структурна схема НТС

Застосування методу осцилографічних досліджень дає можливість поглибленого вивчення таких навчальних питань, як:

- принцип створення обертаючого моменту в трифазному двигуні постійного струму;
- принцип регулювання частоти обертання трифазного двигуна постійного струму;
- принцип регулювання потужності трифазного двигуна постійного струму;
- функції регулятора обертів трифазного двигуна постійного струму;
- структура і двійковий код керівних команд від автопілота до регулятора обертів трифазного двигуна постійного струму;
- структура та двійковий код команд від бортового приймача ручного управління до автопілота;
- структура і двійковий код пакетів обміну даними між автопілотом і бортовим модулем прийому / передачі телеметрії;

структура і двійковий код пакетів даних від цифрового датчика повітряної швидкості до автопілота;

структура пакетів керівних команд із широтно-імпульсною модуляцією від автопілота до сервоприводу рульової поверхні БПЛА.

Програмна частина приставки-осцилографа дозволяє виконувати масштабування досліджуваних сигналів за осями X та Y незалежно для кожного з каналів. За необхідності можна зробити «моментальний знімок» поточної осцилограми та провести його детальне дослідження, виконуючи при цьому необхідні масштабування, вимірювання, підрахунки. Отримані статичні зображення можуть бути збережені у файлах, що дає можливість використовувати їх для оформлення звітних матеріалів.

Метод осцилографічних досліджень дозволяє наочно спостерігати та вивчати особливості електричних потоків і сигналів як у колах живлення, так і в колах управління та передачі даних. Наочність методу полегшує та спрощує сприйняття і засвоєння навчального матеріалу, дозволяє досліджувати особливості роботи бортових систем БПЛА на різних режимах, вивчати особливості усталених та перехідних процесів у бортових системах БПЛА. У цілому застосування методу осцилографічних досліджень сприяє поглибленому вивченню та засвоєнню навчального матеріалу, що в кінцевому результаті забезпечить більш високу якість підготовки операторів БПАК та фахівців із технічного обслуговування БПАК.

Для відпрацювання основних елементів польоту та вивчення курсантами функціонування механізмів БПЛА в ході відпрацювання команд на комп'ютер стенда встановлено програми Mission Planner та X-Plane. Дане програмне забезпечення дозволяє:

- проводити планування і коригування маршруту та програми польоту;
- відпрацьовувати навички пілотування БПЛА в режимі симулятора польоту;
- відпрацьовувати політ на симуляторі за різних погодних умов.

Реалізовано інформаційний обмін між програмним симулятором X-Plane та наземною станцією керування БПЛА, що дало можливість візуально спостерігати відпрацювання рульових поверхонь під час симулювання польоту. У режимі симуляції польоту БПЛА отримує інформацію про свої поточні координати не від бортового модуля GPS, а від симулятора X-Plane. При цьому на монітор Mission Planner виводиться карта території, яка відповідає географічним координатам та висоті польоту, заданим симулятором.

Під час роботи X-Plane є можливість видавати інформацію щодо польоту БПЛА зовнішньому користувачу та гнучко налаштовувати структуру потоку даних, що дозволяє виводити всю необхідну інформацію у вікні Mission Planner. Програмний симулятор X-Plane відрізняється від подібних розробок тим, що розрахунок загального аеродинамічного навантаження на БПЛА відбувається шляхом розбиття кожного крила та лопаті пропелера на невеликі піделементи та підрахування для кожного з них діючих аеродинамічних сил, моментів. Перевага такого підходу порівнянно з моделями, що використовують попередньо обраховані масиви даних, полягає в тому, що не потрібно накопичувати інформацію про поведінку реального апарата. У програмному середовищі X-Plane моделюється поведінка БПЛА на основі даних щодо геометрії, маси, розташування і характеру двигунів.

Висновки. Розроблена НТС відповідає вимогам з безпеки життєдіяльності до навчального обладнання, що працює від електромережі з напругою ~220 V.

Функціональні властивості НТС дозволяють вивчати теоретично та відпрацьовувати практично широкий обсяг навчальних питань, необхідних для підготовки операторів БпАК. До цього обсягу входять питання як щодо пілотування БпЛА, так і щодо освоєння технічного обслуговування та ремонтів БпАК. Упровадження НТС у навчальний процес у ЖВІ сприятиме підвищенню ефективності підготовки військових фахівців.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Петрук С. Безпілотні авіаційні комплекси в збройних конфліктах останніх десятиріч. URL: <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/210/222/> (дата звернення: 20.09.2019).
2. Штаб АТО обнародовал фотографии, свидетельствующие о применении боевиками ударных беспилотников. URL: www.pravda.com.ua/rus/news/2016/05/1/7107304 (дата обращения: 20.09.2020).
3. Довідник основних зразків озброєння та військової техніки Збройних сил Російської Федерації. Київ : Міністерство оборони України, 2015. 365 с.
4. Українські дрони в небесах: проблеми використання безпілотників в Україні. URL: ukr.lb.ua/economics/2017/10/21/379765_ukrainski_droni_nebesah_problemi.htm (дата звернення: 20.09.2020).
5. Іщенко Д. А., Болобан С. І. Методологічні засади досягнення переваги в застосуванні безпілотних авіаційних комплексів // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2016. Спецвип. 3. С. 42–57.
6. Армейцы в районе АТО используют с десяток разных беспилотников. URL: <https://khn.depo.ua/rus/khn/armiyaci-v-rayoni-ato-vikoristovuyut-z-desyatok-riznomanitni-bezpilotnikiv-20180223732081> (дата обращения: 25.11.2020).
7. Степаненко Е., Панченко И., Восколович А. Интеллектуальные сети на базе FANET // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2017. Спецвып. С. 44–49.
8. Степаненко Е., Панченко И., Восколович О. Оснащення ЗСУ безпілотними авіакомплексами // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2018. Спецвып. С. 58–64.
9. Степаненко Е., Панченко И., Восколович А. Организация борьбы с БПЛА // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2018. Спецвып. С. 65–74.
10. Фокин Ю. Г. Оператор-технические средства: обеспечение надежности. Москва : Воениздат, 1985. 192 с.
11. Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Козлов А. И., Чабанюк В. С. Векторная оптимизация динамических систем. Киев : Техника, 1999. 284 с.
12. Бодров В. А., Орлов В. Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. Москва : Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. 288 с.
13. Aeronautics Services. URL: <https://aeronautics-sys.com/home-page/services/> (last accessed: 25.11.2020).
14. RAVEN В. Малий безпілотний літальний апарат: Керівництво з експлуатації / Пер. з англ. мови Гудзя С. М., Гуменюка М. О. Житомир : ЖВІ, 2016. 30 с.

15. «Вега» представила обучающую систему для подготовки операторов БПЛА // Портал «Военное обозрение». URL: <https://topwar.ru/33065-vega-predstavila-obuchayuschuyu-sistemu-dlya-podgotovki-operatorov-bpla.html> (дата обращения: 25.11.2020).
16. Машков О., Мамчур Ю. Обґрунтування напрямків розробки тренажерів підготовки операторів дистанційно-пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. Полтава : ПНТУ, 2018. Т. 3 (49). С. 16–21. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.016>
17. Автономные тренажеры подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов // Портал «Белвнешпромсервис». URL: <https://bvpservice.by/catalog/avtonomnye-trenazhery-podgotovki-operatorov-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-0> (дата обращения: 25.12.2020).
18. Автономный тренажер подготовки оператора беспилотного летательного аппарата. URL: <http://uavbusel.by/produktsiya-i-uslugi/drugaya-produktsiya/trenazhery-i-stendy/avtonomnyj-trenazher-podgotovki-operatora-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> (дата обращения: 20.12.2020).
19. Анисимов А. А. Рекомендации по методике подготовки сотрудников операторов беспилотных летательных аппаратов в органах государственной безопасности // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 181–182.
20. Злотников К. А., Кондратенко А. Г., Савченко О. И. Опыт применения унифицированного учебно-тренажерного комплекса подготовки боевых расчетов наземных пунктов управления комплексов воздушной разведки с БПЛА и актуальные вопросы совершенствования средств автоматизации обучения специалистов по применению беспилотной техники // Доклады и статьи ежегодной науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 83–87.
21. Злотников К. А., Кудрявцев А. Н. Актуальные вопросы создания автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 91–97.
22. Злотников К. А., Прищепа Ю. В. Актуальные вопросы создания автоматизированных обучающих систем для подготовки операторов наземных пунктов управления комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : сб. науч. ст. по материалам I Всеросс. НПК (27–28 мая 2014 г.). Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014, С. 219–223.
23. Осипов Ю. Н., Ершов В. И. Технология разработки программ подготовки операторов беспилотных авиационных систем // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 248–257.

24. Подготовка операторов БПЛА в ВС США // Портал «Современная армия». URL: <http://www.modernarmy.ru/article/331/podgotovka-operatorov-bpla-v-vs-ssha> (дата обращения: 25.12.2020).
25. Свищо В. С. Методика проведения тренажей на унифицированном учебно-тренировочном комплексе «тренировка» // Доклады и статьи ежегод. науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 235–237.
26. Селиверстов Д. Е. Алгоритм оценки и определения направлений повышения качества тренажерных комплексов для подготовки операторов робототехнических комплексов военного назначения // Доклады и статьи ежегод. науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 238–243.
27. Черкасов И. В. Подготовка внешних пилотов БпЛА // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. С. 328–330.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2021.

REFERENCES

1. Petruk, S. (n.d.). *Bezpilotni aviatsiini kompleksi v zbroinykh konfliktakh ostannikh desiatyrich [Unmanned aerial vehicles in armed conflicts in recent decades]*. Retrieved from <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/210/222/> [in Ukrainian].
2. *Shtab ATO obnarodoval fotografii, svidetel'stvuiushchie o primeneni boevikami udarnykh bespilotnikov [The anti-terrorist operation headquarters published the photos testifying to use by fighters of shock drones]*. (n.d.). Retrieved from www.pravda.com.ua/rus/news/2016/05/1/7107304 [in Russian].
3. *Dovidnyk osnovnykh zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroinykh syl Rossiiskoi Federatsii [Basic handbook of models armaments and military equipment in the Armed Forces of the Russian Federation]*. (2015). Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine [in Ukrainian].
4. *Ukrainski drony v nebesakh: problemy vykorystannia bezpilotnykh v Ukraini [Ukrainian drones in the sky: problems of drone use in Ukraine]*. (n.d.). Retrieved from ukr.lb.ua/economics/2017/10/21/379765_ukrainski_droni_nebesah_problemi.htm [in Ukrainian].
5. Ishchenko, D. A., & Boloban, S. I. (2016). Metodolohichni zasady dosiahnennia perevahy v zastosuvanni bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Methodological principles of achieving advantage in the use of unmanned aerial vehicles]. *Problemy stvorennia, vyprovovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system: zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomy rMilitary Institute], Special issue 3*, 42–57. Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].
6. *Armeitsy v raione ATO ispol'zuiut s desiatok raznykh bespilotnikov [Army men in the ATO area use a dozen different drones]*. (n.d.). Retrieved from <https://khn.depo.ua/rus/khn/armiyaci->

v-rayoni-ato-vikoristovuyut-z-desyatok-riznomanitni bezpilotnikiv-20180223732081 [in Russian].

7. Stepanenko, E., Panchenko, I., & Voskolovich, A. (2017). Intel'ektual'nye seti na baze FANET [Intelligent networks based on FANET]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 44–49. Kyiv [in Russian].

8. Stepanenko, Ye., Panchenko, I., & Voskolovych, O. (2018). Osnashchennia ZSU bezpilotnymi aviakompleksamy [Equipping of the Armed Forces with unmanned aerial vehicles]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 58–64. Kyiv [in Ukrainian].

9. Stepanenko, E., Panchenko, I., & Voskolovich, A. (2018). Organizatsiia bor'by s BPLA [Organization of the fight against UAVs]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 65–74. Kyiv [in Russian].

10. Fokin, Iu. G. (1985). *Operator-tekhicheskie sredstva: obespechenie nadezhnosti [Operator-technical means: ensuring reliability]*. Moscow [in Russian].

11. Voronin, A. N., Ziatdinov, Iu. K., Kozlov, A. I., & Chabaniuk, V. S. (1999). *Vektornaia optimizatsiia dinamicheskikh sistem [Vector optimization of dynamical systems]*. Kyiv [in Russian].

12. Bodrov, V. A., & Orlov, V. Ia. (1998). *Psikhologiya i nadezhnost': chelovek v sistemakh upravleniia tekhniki [Psychology and reliability: man in the control systems of technology]*. Moscow [in Russian].

13. *Aeronautics Services*. (n.d.). Retrieved from <https://aeronautics-sys.com/home-page/services/>

14. *RAVEN B. Malyi bezpilotnyi litalnyi aparat: Kerivnytstvo z ekspluatatsii [RAVEN B. Small Unmanned Aerial Vehicle: Operation Manual]*. (2016). Trans. from English Hudz, S. M., & Humeniuk, M. O. Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].

15. «Vega» predstavila obuchaiushchuiu sistemu dlia podgotovki operatorov BpLA [Vega introduced a training system for the training of UAV operators]. (n.d.). *Portal «Voennoe obozrenie» [Military Review Portal]*. Retrieved from <https://topwar.ru/33065-vega-predstavila-obuchayuschuyu-sistemu-dlya-podgotovki-operatorov-bpla.html> [in Russian].

16. Mashkov, O., & Mamchur, Yu. (2018). Obgruntuvannia napriamkiv rozrobky trenazheriv pidhotovky operatoriv dystantsiino-pilotovanykh litalnykh aparativ ekolohichnoho monitorynhu [Substantiation of directions development of simulators and training operators of remote-piloted aircraft at ecological monitoring]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku: zb. nauk. prats [Control, navigation and communication systems. Collection of scientific works], Vol. 3 (49)*, 16–21. Poltava. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.016> [in Ukrainian].

17. Avtonomnye trenazhery podgotovki operatorov bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Autonomous simulators for training operators of unmanned aerial vehicles]. (n.d.). *Portal «Belvneshpromservis»*. Retrieved from <https://bvpservice.by/catalog/avtonomnye-trenazhery-podgotovki-operatorov-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-0> [in Russian].

18. Avtonomnyi trenazher podgotovki operatora bespilotnogo letatel'nogo apparata [Autonomous simulator for training the operator of an unmanned aerial vehicle]. (n.d.). Retrieved from <http://uavbusel.by/produktsiya-i-uslugi/drugaya-produktsiya/trenazhery-i-stendy/avtonomnyj-trenazher-podgotovki-operatora-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> [in Russian].

19. Anisimov, A. A. (2017). Rekomendatsii po metodike podgotovki sotrudnikov operatorov bespilotnykh letatel'nykh apparatov v organakh gosudarstvennoi bezopasnosti [Recommendations on the method of training employees of unmanned aerial vehicle operators in state security agencies]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami"* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 181–182). Kolonna [in Russian].
20. Zlotnikov, K. A., Kondratenko, A. G., & Savchenko, O. I. (2016). Opyt primeneniia unifitsirovannogo uchebno-trenazhernogo kompleksa podgotovki boevykh raschetov nazemnykh punktov upravleniia kompleksov vozdushnoi razvedki s BpLA i aktual'nye voprosy sovershenstvovaniia sredstv avtomatizatsii obucheniia spetsialistov po primeneniiu bespilotnoi tekhniki [Experience application of the unified training complex preparation of combat calculations ground control points of air reconnaissance complexes with UAVs and actual questions at perfection of means automation, training experts on application of unmanned techniques]. In *Doklady i stat'i ezhegodnoi nauch.-praktich. konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»*. [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 83–87). Kolonna [in Russian].
21. Zlotnikov, K. A., & Kudriavtsev, A. N. (2017). Aktual'nye voprosy sozdaniia avtomatizirovannykh sistem podgotovki spetsialistov po upravleniiu kompleksami s bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Topical issues of creating automated systems for training specialists in the management of complexes with unmanned aerial vehicles]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 91–97). Kolonna [in Russian].
22. Zlotnikov, K. A., & Prishchepa, Iu. V. (2014). Aktual'nye voprosy sozdaniia avtomatizirovannykh obuchaiushchikh sistem dlia podgotovki operatorov nazemnykh punktov upravleniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Actual questions of creation for the automated training systems for preparation operators of ground control points complexes with unmanned aerial vehicles]. In *Metodologicheskie aspekty razvitiia meteorologii spetsial'nogo naznachenii, ekologii i sistem aerokosmicheskogo monitoringa : sb. nauch. st. po materialam I Vseross. NPK* [Methodological aspects of development of meteorology of a special purpose, ecology and systems of aerospace monitoring: sb. scientific art. on materials of the I All-Russian NPK]. Voronezh, May 27–28, 2014. (pp. 219–223). Voronezh [in Russian].
23. Osipov, Iu. N., & Ershov, V. I. (2017). Tekhnologiya razrabotki programm podgotovki operatorov bespilotnykh aviatsionnykh sistem [Technology development of training programs for operators of unmanned aerial vehicles]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical

conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 248–257). Kolomna [in Russian].

24. Podgotovka operatorov BPLA v VS SShA [Training of UAV operators in the US Armed Forces]. (n.d.). *Portal «Sovremennaiia armiiia» [Portal "Modern Army"]*. Retrieved from <http://www.modernarmy.ru/article/331/podgotovka-operatorov-bpla-v-vs-ssha> [in Russian].

25. Svishcho, V. S. (2016). Metodika provedeniia trenazhei na unifitsirovannom uchebno-trenirovochnom komplekse "trenirovka" [Methods of training on a unified training complex "training"]. In *Doklady i stat'i ezhegod. nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Reports and articles of the annual scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 235–237). Kolomna [in Russian].

26. Seliverstov, D. E. (2016). Algoritm otsenki i opredeleniia napravlenii povysheniia kachestva trenazhernykh kompleksov dlia podgotovki operatorov robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniiia [Algorithm for assessing and determining areas for improving the quality of training complexes for the training of operators of robotic complexes for military purposes]. In *Doklady i stat'i ezhegod. nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Reports and articles of the annual scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 238–243). Kolomna [in Russian].

27. Cherkasov, I. V. (2017). Podgotovka vneshnikh pilotov BpLA [Training of external UAV pilots]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 328–330). Kolomna [in Russian].

I. A. Pilkevych, A. M. Tokar, O. V. Franzhi, R. I. Loboda, V. V. Dmytruk

A TRAINING SYSTEM FOR PREPARING OPERATORS OF AERIAL VEHICLE SYSTEMS

In order to meet the needs of the Armed Forces of Ukraine (AFU) for specialists in the operation of unmanned aerial systems, the Zhitomir Military Institute named by S. P. Korolev deployed training for operators - military pilots. While creating the material and technical base, the issue of developing and introducing into the training process of simulators that would meet the requirements of higher military education training. Development of the scientific training system was carried out on the basis of the list of basic training issues, profound mastery of which is mandatory for the UAV operator's. The training system was developed, manufactured and implemented in the training process, which is built as a schematic-abstracted one to ensure the conditions of effective learning material assimilation. The content basis of the scientific training system is a flat schematic outline of the aircraft, which contains typical onboard equipment of unmanned aerial vehicles and a reconstructed connection scheme of the elements. The power of the onboard equipment is provided from the classroom power supply via a stabilized power supply unit. Operation of the onboard equipment can be controlled from the manual control panel and from the ground control station via the Mission Planner program. The Mission

Planner can also be controlled from the X - Plane flight simulator. In flight simulation mode, the Mission Planner screen displays a map of the flight route, the X-Plane screen displays the view and spatial orientation as well as the corresponding servo drives of the aircraft's steering surfaces and the main engine operation modes. The software of the scientific training system allows planning and adjusting the route and flight program, practicing UAV piloting skills in the flight simulator mode, simulating flight in different weather conditions. The scientific training system includes a two-channel hardware-software oscilloscope which allows to research electric processes in different electric lines of airborne equipment of the aircraft and pair interconnections between them. Functional properties of scientific training system allow to study theoretically and practice practically a wide range of training issues required in training of UAV operators. Up to this circle includes both the issues necessary for mastering drone piloting and the issues necessary for mastering the maintenance and repairs of UAV.

Keywords: *unmanned aircraft complex; unmanned aerial vehicle; training system; flight simulator; specialized software.*

Бедрій Назар Андрійович – курсант Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– принципи роботи та управління виконавчими системами, керуючими органами управління безпілотних літальних апаратів.

Гумен Олена Миколаївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Наукові інтереси:

– прикладна геометрія в озброєнні та військовій техніці;
– комп’ютерне просторове моделювання мікроклімату обмеженого простору та автоматизація його проектування.

Дмитрук Володимир Валерійович – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– безпілотні авіаційні комплекси.

Ісмаїлова Неля Петрівна – доктор технічних наук, професор, заступник завідувача кафедри Військової академії (м. Одеса).

Наукові інтереси:

– прикладна механіка в озброєнні та військовій техніці;
– геометричне моделювання технічних форм та автоматизація їх проектування.

Іщенко Дем’ян Андрійович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– дослідження складних інформаційних систем;
– моделювання операцій.

Іщенко Сергій Дем’янович – офіцер військової частини А0515.

Наукові інтереси:

– системи моніторингу.

Каневський Леонід Броніславович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– моделювання та програмування в складних інформаційно-розвідувальних системах.

Каращук Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– техніка надвисоких частот;
– методи зменшення втрат потужності сигналу в антенно-фідерних системах.

Кирилюк Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– системи моніторингу, захисту та впливу.

Кобзар Олександр Володимирович – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Науково-дослідного центру Збройних Сил України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія».

Наукові інтереси:

– інформаційні технології;
– фізичні поля кораблів.

Колісник Олексій Сергійович – курсант Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– технології комп'ютерного зору;
– технології комп'ютерного навчання.

Кушнарєва Галина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Військової академії (м. Одеса).

Наукові інтереси:

– прикладна геометрія в озброєнні та військовій техніці;
– комп'ютерне просторове моделювання мікроклімату обмеженого простору та автоматизація його проектування.

Лобода Роман Іванович – науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– людино-машинні системи;
– безпілотні авіаційні комплекси.

Манойлов В'ячеслав Пилипович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

– прилади надвисоких частот та антени;
– біомедичні прилади та системи.

Марищук Людмила Мічеславівна – старший науковий співробітник науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

– організація наукових досліджень.

Мартинчук Петро Петрович – старший викладач кафедри Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

– обробка сигналів у радіотехнічних системах;
– електро- та радіовимірювальні прилади.

Могілянець Тетяна Михайлівна – старший викладач кафедри Військової академії (м. Одеса).

Наукові інтереси:

- прикладна механіка в озброєнні та військовій техніці;
- геометричне моделювання технічних форм та автоматизація їх проектування.

Мусієнко Михайло Володимирович – начальник науково-дослідного відділу Науково-дослідного центру Збройних Сил України «Державний океанаріум» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія».

Наукові інтереси:

- моделювання інформаційних систем;
- застосування безпілотних комплексів;
- радіолокаційні системи.

Пашинський Віталій Аркадійович – старший офіцер першого відділу 1 центру в/ч А0515.

Наукові інтереси:

- удосконалення інерціально-навігаційної системи в безпілотних авіаційних комплексах;
- підвищення ефективності тактики ведення повітряної розвідки.

Пількевич Ігор Анатолійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- системна інженерія;
- проектування складних інформаційних систем.

Савчук Владислава Сергіївна – доктор філософії, викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- інформаційна безпека;
- інформаційно-психологічні впливи;
- моделювання інформаційного протиборства.

Соболенко Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- інваріантні антенні решітки.

Токар Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- людино-машинні системи;
- космічні системи.

Франжі Олександр Вікторович – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- космічні системи;
- обробка даних дистанційного зондування Землі.

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 – 2,12 см, знизу – 1,2 см, від краю до верхнього та нижнього колонтитула – 1,25 см; сторінки без нумерації. Обсяг статті від 5 до 10 сторінок (без анотацій).

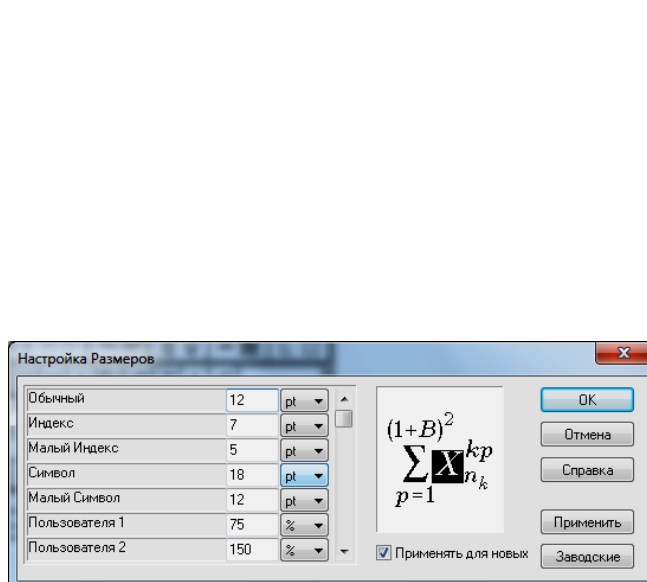
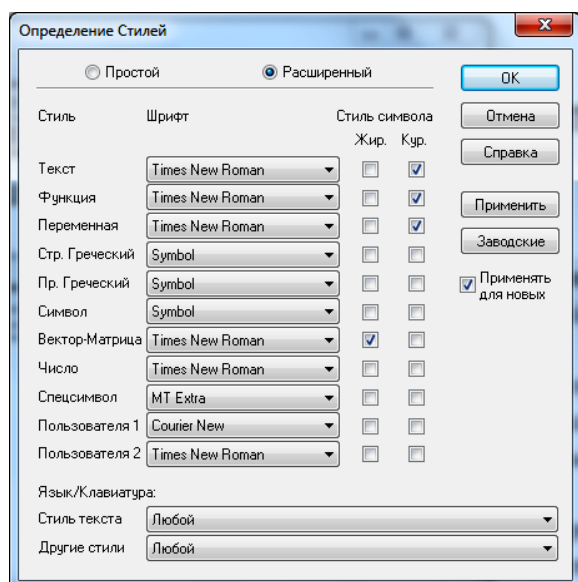
Наукова праця має бути якісно відредагована та **підписана авторами** на звороті останнього аркуша із зазначенням: «У статті інформація з обмеженим доступом відсутня».

До статті додаються: **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, наукових інтересів (обов'язково), контактного телефону, e-mail.

Разом зі статтею подається її електронний варіант з розширенням doc (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 і 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.



Усі 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. Відповідно до постанови президії ВАК України від 15 січня 2003 року № 7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України» 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 літератури (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 літератури наводиться REFERENCES, оформлений у стилі APA.

10. Далі подаються англійською мовою: прізвища авторів, назва статті, 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. 48-632, 46-675).

E-mail: nov.zvir@gmail.com

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

Збірник наукових праць

Випуск 20

Видавничий оригінал виготовлений
у науково-організаційному відділенні ЖВІ

Редактор: **Л. М. Марищук**
Комп'ютерна верстка та макетування **Л. М. Марищук**

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 7355 від 9 червня 2021 року.

Підписано до друку 18.11.2021. Формат 60 × 84 / 8.

Ум. друк. арк. 12,09. Тираж 100 прим. Зам. 617 офс.

Безкоштовно
Друкарня ЖВІ

10004, м. Житомир, просп. Миру, 22